M. MEHEDINȚEANU D. HOLLANDA I. SPOREA

TEHNOLOGIE MECANICĂ ȘI MAȘINI-UNELTE

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI - 1982

ȘI MAȘINI-UNELTE
I. SPOREA

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

M. MEHEDINȚEANU • D. HOLLANDA • I. SPOREA
Șef lucr. dr. ing. Conf. dr. ing. Conf. dr. ing.

TEHNOLOGIE MECANICĂ ȘI MAȘINI-UNELTE

— pentru subingineri —

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ — BUCUREȘTI

Scanned with OKEN Scanner

Manuscrisul a fost analizat și aprobat de colectivul Catedrei de tehnologia materialelor și sudării, Consiliul profesoral al Facultății de T.C.M. și Biroul Senatului Institutului politehnic București; colectivul Catedrei de tehnologie mecanică, Consiliul profesoral al Facultății de mecanică și Biroul Senatului Institutului politehnic Timișoara; colectivul catedrei de T.C.M., Consiliul profesoral al Facultății de învățămînt tehnic și pedagogic și Biroul Senatului Institutului de învățămînt superior Tîrgu Mureș.

Contribuția autorilor la elaborarea lucrării este următoarea:

Șef. lucr. dr. ing. **M. Mehedințeanu** — capitolele 1, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12;

Conf. dr. ing. **D. Hollanda** — capitolul 10;

Conf. dr. ing. **I. Sporea** — capitolele 2, 3, 9.

Redactor: ing. *IRINA TRIF*

Tehnoredactor: *PARASCHIVA GAȘPAR*

Grafician: *NICOLAE SÎRBU*

PREFAȚĂ

Procesele tehnologice din industria constructoare de mașini și aparate au ca scop realizarea a două tipuri de transformări:

— modificarea formei și dimensiunilor, precum și a fineței și poziției reciproce a suprafețelor pentru obiecte sau grupe de obiecte legate funcțional, fără modificarea însușirilor materialului;

— îmbunătățirea proprietăților materialului în curs de prelucrare sau deja prelucrat, în raport de cerințele tehnologice, funcționale și de exploatare ale obiectului semifabricat sau produs finit.

Manualul tratează, în esență, principalele probleme legate de procesele prelucrării dimensionale în industria electrotehnică și constructoare de mașini.

Studiul temeinic al proceselor tehnologice face posibilă aplicarea celor mai corespunzătoare metode de lucru, îmbunătățirea continuă a calității produselor realizate.

Conținutul lucrării este organizat în zece capitole, grupate astfel:

a) Elemente de studiul metalelor, Procedee și metode de sporire a calității materialelor, Tratamente termice, Materiale metalice și nemetalice folosite în industria electrotehnică și în construcția de mașini, Protecția suprafețelor împotriva coroziunii, Acoperiri.

b) Prelucrări dimensionale prin turnare, deformare plastică, agregare de pulberi, sudare, lipire, coroziune și așchiere.

c) Protecția muncii și mediului înconjurător.

Scanned with OKEN Scanner

Privind modul de tratare a problemelor tehnologice, în cadrul fiecărui procedeu sau metodă sînt prezentate în ordinea succesivă fenomenul de bază, mecanismul procesului, interpretarea teoretică, parametrii optimi ai regimului de lucru, utilajul necesar capabil să asigure tehnologia proiectată, în condițiile unei producții rentabile și a unor măsuri adecvate de protecție a muncii și mediului înconjurător.

Manualul se adresează studenților subingineri din profilul electric, putînd fi util și celor din celelalte facultăți tehnice și forme de învățămînt.

AUTORII

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

1. ELEMENTE DE STUDIUL METALELOR

1.1. Structura atomică a metalelor, legătura atomică 11
1.2. Structura cristalină a metalelor 12
1.2.1. Sistemul cubic simplu 14
1.2.2. Sistemul cubic cu volum centrat 14
1.2.3. Sistemul cubic cu fețe centrate 15
1.2.4. Sistemul hexagonal compact 15
1.2.5. Sistemul tetragonal 16
1.2.6. Imperfecțiunile structurii cristalelor reale 16
1.2.7. Structura policristalină a metalelor 17
1.3. Topirea și solidificarea metalelor și aliajelor 18
1.3.1. Topirea metalelor 18
1.3.2. Solidificarea metalelor 19
1.4. Transformările alotropice ale metalelor 21
1.5. Aliajele și constituenții lor structurali 22
1.6. Tipuri de diagrame de echilibru 23
1.6.1. Clasificarea aliajelor binare 23
1.6.2. Aliaje insolubile sau parțial solubile în stare lichidă 24
1.6.3. Aliaje total solubile în stare solidă 26
1.6.4. Aliaje insolubile sau parțial solubile în stare solidă 28
1.6.5. Aliaje cu compuși definiți 29
1.6.6. Aliaje cu transformări în stare solidă 30
1.7. Aliajele fier-carbon. Diagrama de echilibru 32

2. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN TURNARE

2.1. Confecționarea formelor de turnare temporare obișnuite 36
2.1.1. Prepararea amestecurilor 37
2.1.2. Metode de formare 38
2.2. Confecționarea formelor temporare din amestecuri de formare speciale 45
2.2.1. Forme întărite chimic cu CO_2 45
2.2.2. Forme înghețate 46
2.2.3. Forme întărite cu ciment 46
2.2.4. Forme de gips 46
2.2.5. Forme coji 46
2.2.6. Confecționarea formelor cu pereți subțiri 48
2.2.7. Formarea cu modele volatile sau gazeificate 49

Scanned with OKEN Scanner

2.3. Forme permanente (cochilii) 49
2.3.1. Forme statice 49
2.3.2. Forme permanente în mișcare 52
2.4. Alegerea metodei de turnare 54
2.4.1. Poziția de turnare 54
2.4.2. Adaosuri dimensionale 55
2.4.3. Rețele de turnare 55
2.4.4. Maselote 58
2.5. Metode speciale de turnare 59
2.5.1. Turnarea sub presiune 59
2.5.2. Turnarea continuă a oțelului 59
2.5.3. Turnarea în lingotiere 60
2.5.4. Elaborarea și turnarea în vid 61

3. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN DEFORMĂRI PLASTICE (DP)

3.1. Considerații generale asupra procesului de deformare plastică . . . 62
3.2. Influența diferiților factori asupra procesului de deformare plastică . 64
3.2.1. Influența temperaturii 65
3.2.2. Influența gradului de deformare plastică și a mărimii grăunților 66
3.2.3. Influența structurii inițiale și compoziției chimice 68
3.2.4. Influența vitezei de deformație 68
3.2.5. Influența stării tensionate 69
3.3. Legile deformării plastice 69
3.3.1. Legea volumului constant 69
3.3.2. Legea rezistenței minime 70
3.3.3. Legea similitudinii 70
3.3.4. Legea tensiunilor suplimentare 71
3.4. Procesul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică 71
3.4.1. Debitarea 71
3.4.2. Încălzirea 72
3.5. Deformarea plastică prin laminare 75
3.5.1. Laminarea unor profile caracteristice 77
3.6. Tragerea și trefilarea 78
3.6.1. Utilajul principal al trefilărilor de sîrmă 79
3.6.2. Tragerea țevilor 80
3.7. Extrudarea (extuziunea) 80
3.7.1. Extrudarea la cald 82
3.7.2. Extrudarea la rece 85
3.8. Forjarea 85
3.8.1. Forjarea liberă 85
3.8.2. Matrițarea 87
3.8.3. Mașini cu destinație specială 88
3.9. Prelucrarea tablelor 89
3.9.1. Prelucrarea tablelor prin tăiere 89
3.9.2. Prelucrarea tablelor prin deformări plastice 92

4. PROCEDEE ȘI METODE DE SPORIRE A CALITĂȚII MATERIALELOR METALICE

4.1. Materiale metalice în stare topită 97
4.1.1. Separarea incluziunilor 97
4.1.2. Desulfurarea 99
4.1.3. Procedee combinate 99

Scanned with OKEN Scanner

4.1.4. Alte procedee 100
4.1.5. Modificarea 100
4.2. Tratamente termice şi termochimice 101
4.2.1. Clasificarea tratamentelor termice 101
4.2.2. Recoacerea oţelurilor 102
4.2.3. Călirea şi revenirea oţelurilor 104
4.2.4. Tratamente termochimice 109

5. PRINCIPALELE MATERIALE METALICE ŞI NEMETALICE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ ŞI ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI

A. *Materiale metalice*
5.1. Oţeluri 116
5.1.1. Oţeluri carbon 116
5.1.2. Oţeluri slab aliate 117
5.1.3. Oţeluri aliate 117
5.2. Fonte 117
5.2.1. Fonte cenuşii cu grafit lamelar 117
5.2.2. Fonte cenuşii cu grafit nodular 120
5.2.3. Fonte albe 120
5.2.4. Fonte maleabile 120
5.2.5. Fonte cu proprietăţi speciale 120
5.3. Aliaje ale metalelor neferoase 121
5.3.1. Aliajele cuprului 121
5.3.2. Aliajele aluminiului 121
5.3.3. Aliajele nichelului 121
5.3.4. Aliajele magneziului 122
5.3.5. Aliaje antifricţiune 122
B. *Materiale nemetalice*
5.4. Masele plastice 122
5.5. Cauciucul 123
5.6. Azbestul 123
5.7. Sticla 124
5.8. Pielea 124
5.9. Lemnul şi produsele lemnoase 125

6. PRELUCRAREA PRIN AGREGATE DE PULBERI (METALURGIA PULBERILOR)

6.1. Pulberi metalice, proprietăţi 126
6.2. Tehnologii de fabricare a produselor din pulberi metalice 127
6.2.1. Elaborarea pulberilor metalice 127
6.2.2. Pregătirea pulberilor sau amestecului de pulberi 130
6.2.3. Realizarea formei şi dimensiunilor produselor prin agregare de pulberi 130
6.2.4. Sinterizarea 132
6.2.5. Modificări rezultate prin sinterizare 135
6.2.6. Instalaţii pentru încălzire în vederea sinterizării 136
6.2.7. Prelucrări ulterioare sinterizării 136
6.2.8. Controlul şi defectele produselor sinterizate 137
6.3. Domeniile de utilizare şi perspectivele aplicării metalurgiei pulberilor 137
6.4. Produse ale metalurgiei pulberilor 137
6.4.1. Materiale antifricţiune poroase pentru lagăre 137

Scanned with OKEN Scanner

6.4.2. Produse sinterizate pentru construcția de mașini 138
6.4.3. Produse de mare porozitate 138
6.4.4. Produse de fricțiune 139
6.4.5. Produse din materiale magnetice sinterizate 139
6.4.6. Produse pentru contacte electrice 139
6.4.7. Materiale refrectare sinterizate 139
6.4.8. Aliaje dure 140
6.5. Avantaje și dezavantaje ale procedeului de sinterizare 140

7. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN SUDARE

7.1. Considerații generale asupra prelucrării prin sudare 141
7.1.1. Procese metalurgice specifice îmbinării prin sudare 141
7.1.2. Structura cristalină a îmbinărilor sudate 142
7.1.3. Sudabilitatea materialelor metalice 143
7.1.4. Clasificarea procedeelor de sudare 145
7.2. Sudarea prin topire cu energie termochimică 145
7.2.1. Sudarea prin topire cu flacără de gaz 145
7.2.2. Sudarea prin turnare 152
7.3. Sudarea prin topire cu energie electrică 153
7.3.1. Formarea arcului electric în curent continuu 153
7.3.2. Formarea arcului electric în curent alternativ 155
7.3.3. Trecerea prin arc a metalului de adaos 156
7.3.4. Surse pentru sudarea electrică cu arc 156
7.3.5. Sudarea manuală cu arc electric deschis și electrozi înveliți . . 158
7.3.6. Sudarea automată sub strat de flux 168
7.3.7. Alte metode tehnologice de sudare automată sub strat de flux 170
7.3.8. Sudarea cu arc sub protecție de gaze inerte 171
7.3.9. Sudarea cu hidrogen atomic 172
7.3.10. Sudarea cu bioxid de carbon 173
7.3.11. Sudarea în baie de zgură 173
7.3.12. Sudarea prin topire cu plasmă termică 175
7.4. Materiale de adaos pentru sudare 175
7.4.1. Rolul materialelor de adaos 175
7.4.2. Electrozii fuzibili 176
7.4.3. Fluxurile pentru sudarea electrică 179
7.5. Sudarea prin presiune 181
7.5.1. Sudarea prin presiune cu încălzire la flacără 182
7.5.2. Sudarea electrică prin rezistență 182
7.5.3. Sudarea cu încălzire prin inducție 188
7.5.4. Sudarea cu încălzire prin frecare 188
7.5.5. Sudarea la rece 189
7.6. Îmbunătățirea calității îmbinărilor sudate. Tratamente termice . . . 190
7.7. Defectele îmbinărilor sudate și metodele de identificare a acestora . 191
7.7.1. Cauze ale apariției defectelor de sudare 191
7.7.2. Tensiuni la sudare 192
7.7.3. Deformații, fisurări, ruperi 192
7.7.4. Clasificarea defectelor posibile în îmbinările sudate 193
7.7.5. Controlul îmbinărilor sudate 193

8. LIPIREA

8.1. Generalități 196
8.1.1. Fenomenul tehnologic 196
8.1.2. Factorii determinanți 196

Scanned with OKEN Scanner

8.1.3. Avantajele procedeului 197
8.1.4. Domeniul de utilizare 198
8.2. Lipirea moale 198
8.2.1. Materiale de adaos pentru lipirea moale 199
8.2.2. Fluxuri şi gaze reducătoare folosite pentru lipirea moale . . . 199
8.2.3. Tehnologia şi utilajele folosite la lipirea moale 200
8.3. Lipirea tare 205
8.3.1. Caracteristici, condiţii, domeniu de utilizare 205
8.3.2. Aliaje (materiale de adaos) şi fluxuri pentru lipirea tare . . 205
8.3.3. Tehnologii şi utilaje pentru lipirea tare 206
8.4. Lipirea cu adezivi 210

9. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE

9.1. Prelucrarea prin eroziune electrică 212
9.1.1. Prelucrarea cu descărcări amorsate prin străpungerea unui mediu dielectric 214
9.1.2. Prelucrarea prin contact 218
9.2. Prelucrarea prin eroziune electrochimică 218
9.2.1. Eroziunea electrochimică cu depasivare naturală 219
9.2.2. Eroziunea electrochimică cu depasivare artificială 219
9.3. Prelucrarea prin eroziune chimică 220
9.4. Prelucrarea prin eroziune complexă 220
9.5. Prelucrarea prin eroziune abrazivă-cavitaţională în cîmp ultrasonic 221
9.5.1. Utilaje de prelucrat abraziv-cavitaţional 222
9.6. Prelucrarea prin eroziune cu energii concentrate (fascicule) 223
9.6.1. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă (jet) 223
9.6.2. Prelucrarea prin eroziune cu radiaţii 224

10. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN AŞCHIERE ŞI MAŞINI-UNELTE

10.1. Elemente de teoria aşchierii 229
10.1.1. Noţiuni şi definiţii 229
10.1.2. Procesul formării aşchiei 235
10.1.3. Forţele de aşchiere 238
10.1.4. Lucrul mecanic şi puterea în procesul de aşchiere 239
10.1.5. Termodinamica procesului de aşchiere 240
10.1.6. Uzura şi durabilitatea sculelor aşchietoare 241
10.1.7. Materiale pentru scula aşchietoare 242
10.2. Maşini-unelte 244
10.2.1. Structura cinematică a maşinilor-unelte 244
10.2.2. Mecanisme pentru reglarea în trepte a turaţiilor 245
10.2.3. Mecanisme pentru reglarea continuă a turaţiilor 247
10.2.4. Mecanisme pentru inversarea sensului de rotaţie 248
10.2.5. Mecanisme pentru realizarea mişcării rectilinii 249
10.2.6. Mecanisme pentru realizarea mişcării intermitente 253
10.2.7. Strunjirea 253
10.2.8. Prelucrarea găurilor 260
10.2.9. Frezarea 264
10..10. Rabotarea 267
10.2.11. Mortezarea şi maşinile de mortezat 268
10.2.12. Broşarea şi maşinile de broşat 269
10.2.13. Rectificarea 270
10.2.14. Danturarea roţilor dinţate cilindrice 271

Scanned with OKEN Scanner

11. PROTECȚIA SUPRAFEȚELOR ÎMPOTRIVA COROZIUNII. ACOPERIRI

11.1. Fenomenul coroziunii 277
11.1.1. Coroziunea chimică 277
11.1.2. Coroziunea electrochimică 279
11.2. Metode de prevenire a coroziunii materialelor metalice 281
11.2.1. Acționarea asupra mediului coroziv 281
11.2.2. Prevenirea coroziunii 281
11.2.3. Utilizarea metalelor și aliajelor rezistente la coroziune . . . 282
11.2.4. Acoperirea suprafețelor cu învelișuri anticorozive 282
11.3. Acoperirea prin pulverizare (metalizarea) 282
11.4. Materiale de acoperire și protecție a suprafețelor metalice 283

12. REGLEMENTĂRI ȘI RECOMANDĂRI PRIVIND PROTECȚIA MUNCII

12.1. Introducere 285
12.2. Prevederi ale normelor de protecția muncii în secțiile de elaborare și turnare în lingotiere 286
12.3. Prevederi ale normelor de protecția muncii în secțiile de formare și turnare în forme 286
12.4. Prevederi ale normelor de protecția muncii în secțiile de prelucrare prin deformare plastică a materialelor metalice 287
12.5. Prevederi ale normelor de protecția muncii în secțiile, atelierele și locurile de muncă destinate sudării 289
12.6. Prevederi ale normelor de protecția muncii în spațiile destinate prelucrării prin așchiere 289
12.6.1. Măsuri de protecția muncii privind operatorul uman 290
12.6.2. Măsuri de protecția muncii privind utilajul și spațiul de lucru 290
12.7. Recomandări pentru prevenirea exploziilor și intoxicațiilor la fabricarea produselor prin sinterizare 291
12.8. Protecția mediului înconjurător 291
12.8.1. Introducere 291
12.8.2. Factori poluanți ai mediului înconjurător 291
12.8.3. Situația actuală privind gradul de poluare a mediului . . . 292
12.8.4. Autoepurarea 294
12.8.5. Rolul social al acțiunilor de protecție a mediului 294
12.8.6. Acțiuni internaționale 295
Bibliografie 297

Scanned with OKEN Scanner

1

ELEMENTE DE STUDIUL METALELOR

În mod curent, prin metale se înțelege grupa de elemente chimice care, la temperatura ambiantă, sînt solide (exceptînd mercurul), au luciu metalic caracteristic, opacitate, impermeabilitate, rezistență mecanică bună, conductibilitate electrică și termică ridicată, structură cristalină specifică etc. Din acestea, proprietatea caracteristică este conductibilitatea electrică și termică. Astfel, cel mai bun conducător de electricitate este argintul, după care urmează cuprul, iar cel mai slab este plumbul; însă rezistivitatea plumbului este de 12 ori mai mare decît a cuprului. Un material metalic, cum este diamantul, are rezistivitatea de 10^9 ori mai mare decît cuprul. Explicația acestei mari diferențe, între metale și nemetale, constă în faptul că electronii, aceste particule fundamentale încărcate negativ, se pot mișca liber în metal sub acțiunea unei diferențe de potențial, fenomen inexistent în materialele nemetalice.

Întrucît, proprietățile fundamentale ale stării metalice depind de structura electronică a metalelor, studiul materialelor metalice trebuie abordat prin examinarea structurii atomilor din care sînt constituite.

1.1. STRUCTURA ATOMICĂ A METALELOR, LEGĂTURA ATOMICĂ

Teoria clasică a stării metalice consideră metalele ca elemente alcătuite din ioni încărcați pozitiv (atomi care și-au pierdut electronii lor de valență), înconjurați de un „nor de electroni" cu sarcină electrică negativă format din electronii cu valență a atomilor de metal. Această *legătură metalică* dintre atomi, este specifică metalelor și explică unele proprietăți caracteristice ale acestora, cum ar fi conductibilitatea electrică și termică deosebit de bună, fenomenul de termoelectricitate și altele.

Metalele sînt corpuri cristaline, în care ionii pozitivi sînt așezați în nodurile rețelei cristaline (fig. 1.1); printre aceștia se pot mișca liber electronii cedați sub formă de *gaz electronic (nor electronic)* avînd o mare mobilitate. Astfel, într-o sîrmă metalică sub tensiune electrică, no-

Scanned with OKEN Scanner

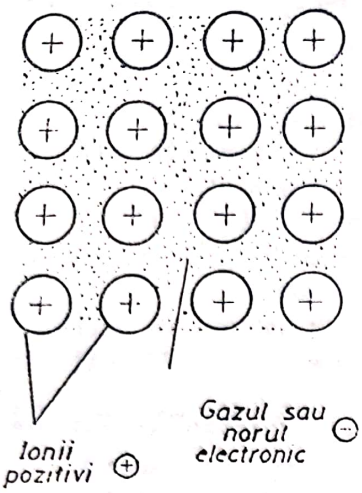


Fig. 1.1. Schema convențională a reprezentării legăturii metalice.

rul electronic se va deplasa într-o anumită direcție, producîndu-se în acest fel curentul electric. Conductibilitatea termică ridicată a metalelor este tot o urmare a mobilității mari a electronilor de valență a acestor materiale. Termoelectricitatea poate fi explicată astfel: dacă două metale diferite se sudează la capete, norul electronic se scurge de la metalul în care presiunea electronică este mare, spre cel cu presiunea electronică mai mică.

Teoria modernă a stării metalice pornește de la principiul că în metalele compacte numai nivelele mai apropiate de nucleu sînt distincte, în timp ce nivelele și subnivelele exterioare se contopesc în benzi de energie, conținînd mai multe nivele cu energii foarte apropiate. Nivelele de energie din benzi nu aparțin atomilor individuali, ci întregului metal.

Legătura metalică nu are o anumită orientare. Aceasta explică plasticitatea ridicată a metalelor, proprietate inexistentă la cristalele ionice, de exemplu.

1.2. STRUCTURA CRISTALINĂ A METALELOR

Funcție de poziția în spațiu a atomilor unui corp solid pot fi:

— *corpuri cristaline,* caracterizate printr-o dispoziție ordonată, riguros geometrică a atomilor, formînd *rețelele cristaline;*

— *corpuri amorfe,* caracterizate printr-o dispoziție întîmplătoare, care nu mai au un aranjament geometric în spațiu, fără o caracteristică a rețelei (parametru).

Toate metalele în stare solidă sînt corpuri cristaline, în care atomii formează o rețea spațială (fig. 1.1 și fig. 1.2, *A*). Proprietățile corpurilor cristaline variază în funcție de direcția așezării atomilor. Astfel, în direcția *1—1,* proprietățile termice, mecanice și electrice vor fi diferite față de cele în direcția *2—2.* Variația proprietăților fizice funcție de di-

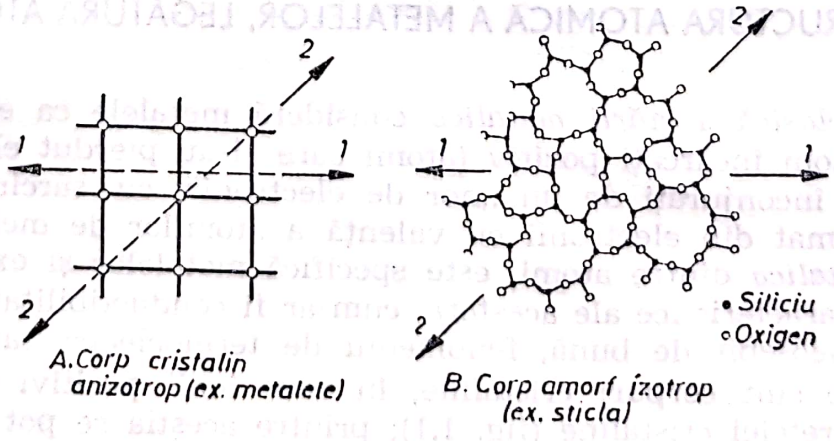


Fig. 1.2. Reprezentarea în plan a structurii cristaline și stării amorfe.

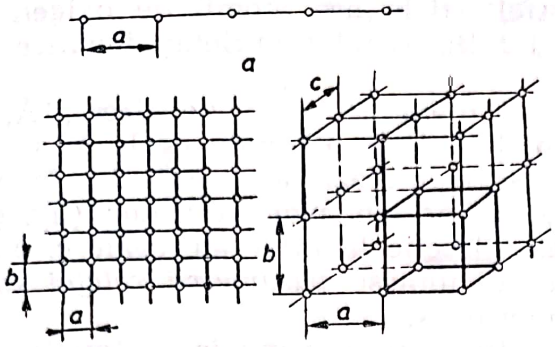


Fig. 1.3. Tipuri de rețele cristaline:
a – șir reticular; b – plan reticular; c – rețea spațială.

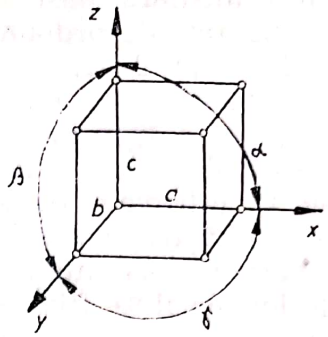


Fig. 1.4. Celula elementară, dimensiuni.

recțiile considerate, specifică corpurilor cristaline, se numește *anizotropie*. Proprietățile care variază în funcție de direcție în corpurile anizotrope, sînt: conductibilitatea termică, dilatarea termică, indicele de refracție (la corpurile transparente, deci nu la metale), conductibilitatea electrică, rezistența mecanică, viteza de creștere a cristalelor în timpul solidificării, viteza de dizolvare sau de topire etc.

Cînd proprietățile unui material sînt independente de direcție, acesta este *izotrop*. Izotropia este o *stare amorfă*, fiind o tranziție între stările lichidă și cristalină. Materialele (grafitul, smoala, rășinile, sticla etc.), puține la număr, se topesc și se solidifică treptat, trecînd printr-o

TABELUL 1.1

Sisteme cristaline și celula elementară

Sistemul cristalin	Celula elementară	Geometria celulei	
		Lungimile	Unghiurile
Cubic	simplă cu volum centrat cu fețe centrale	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90°$
Tetragonal	simplă cu volum centrat	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90°$
Rombic	simplă cu baze centrate cu volum centrat cu fețe centrate	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90°$
Hexagonal	simplă	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=90°;\ \gamma=120°$
Romboedric	simplă	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma\neq90°$
Monoclinic	simplă cu baze centrate	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\gamma=90°\neq\beta$
Triclinic	simplă	$a\neq b\neq c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq90°$

Scanned with OKEN Scanner

stare intermediară păstoasă. Astfel, sticla are atomii de oxigen și de siliciu orientați dezordonat (fig. 1.2, *B*), avînd proprietăți identice în direcțiile *1—1* sau *2—2*.

Considerînd un atom (al cărui diametru este de circa 1Å, adică 10^{-8} cm) ce se translatează pe o direcție la distanțe egale *a*, se obține un șir reticular (fig. 1.3, *a*). Dacă se translează șirul reticular în a doua direcție la intervale egale *b*, se obține un *plan reticular* (fig. 1.3, *b*). Printr-o nouă translație în a treia direcție la intervale egale *c*, obține o *rețea spațială*. Distanțele *a*, *b*, *c* se numesc *parametrii rețelei* spațiale, valorile lor absolute fiind exprimate în Å.

Nodurile rețelei cristaline constituie poziția medie a atomilor în oscilație permanentă cu amplitudine mică, a cărei valoare crește odată cu temperatura.

Sistemul cristalin este dependent de parametrii rețelei precum și de unghiurile α, β și γ dintre cele trei direcții principale. Acești parametri determină *celula elementară* a unui sistem cristalin, elementul de bază al unei rețele atomice spațiale (fig. 1.4).

Avînd în vedere diferitele mărimi ale parametrilor celulei elementare, se cunosc în total 7 sisteme cristaline (tab. 1.1). Metalele și aliajele acestora cristalizează după primele patru sisteme.

1.2.1. SISTEMUL CUBIC SIMPLU

Acest sistem (fig. 1.5) este inexistent la metalele pure, datorită insuficientei sale compactivități. Fiecare atom din fiecare colț al celulei elementare, aparține la 8 celule vecine.

1.2.2. SISTEMUL CUBIC CU VOLUM CENTRAT

Acest sistem este caracteristic cristalizării fierului la temperatura ambiantă (fig. 1.6). Un atom este amplasat în centrul cubului și opt atomi se află în cele 8 colțuri ale celulei.

Fierul este cel mai frecvent metal cu structura cubică cu volum centrat Feα, Feβ și Feγ. În acest sistem mai cristalizează: Mo, Cr, W, Nb, V, Li, Na, K, Cs, Ba, Zr, Mn, Rb, alama β ș.a.

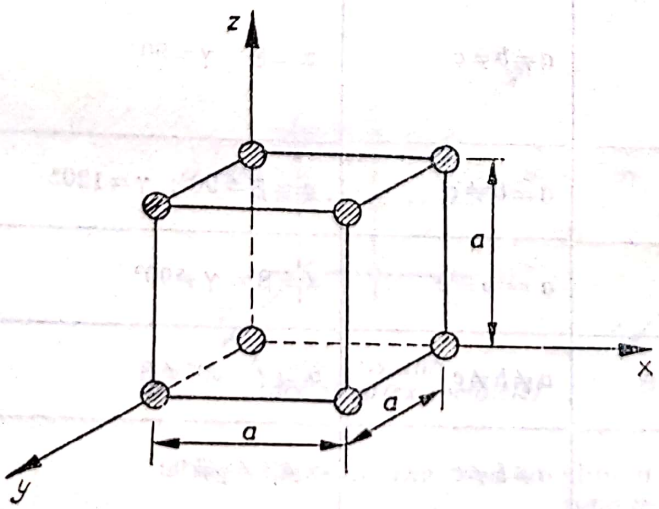


Fig. 1.5. Sistemul cubic simplu.

Scanned with OKEN Scanner

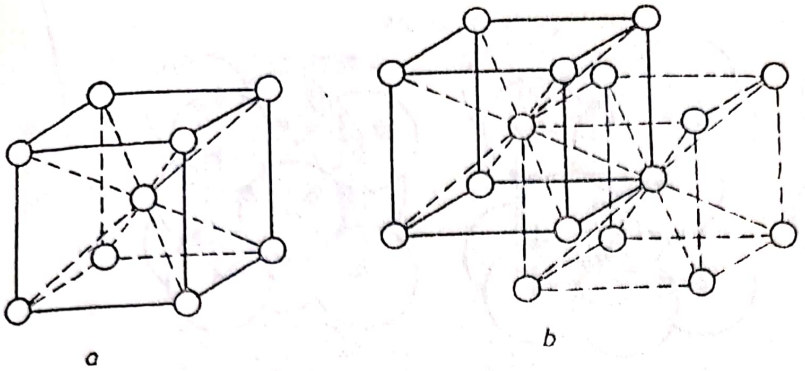


Fig. 1.6. Sistemul cubic cu volum centrat.

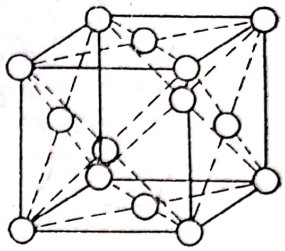


Fig. 1.7. Sistemul cubic cu fețe centrate.

1.2.3. SISTEMUL CUBIC CU FEȚE CENTRATE

În sistemul cubic cu fețe centrate (fig. 1.7) cristalizează mai multe metale, în special cele moi, plastice, bune conducătoare de electricitate și căldură, cum sînt: Al, Cu, Ag, Pb, Ni, Au, Pt, Ir, Ca, Tl, U, Rh, Coβ, Fe γ etc., acest sistem oferind mai multe plane de alunecare, facilitînd astfel deformarea plastică.

1.2.4. SISTEMUL HEXAGONAL COMPACT

Tendința atomilor de a se aranja mai compact conduce la orientarea acestora în sistemul hexagonal compact (fig. 1.8). Celula elementară se compune din 12 atomi plasați în colțurile bazelor hexagonale, 2 atomi în centrele bazelor și 3 atomi plasați în interiorul celulei elementare. Acest sistem de cristalizare are un grad mai redus de simetrie și un număr mic de plane de alunecare, fiind specific unui număr redus de metale, cele cu plasticitate redusă (Mg, Zn, Cd, Co α, Be, Hf, Ti, Os etc., precum și grafitul).

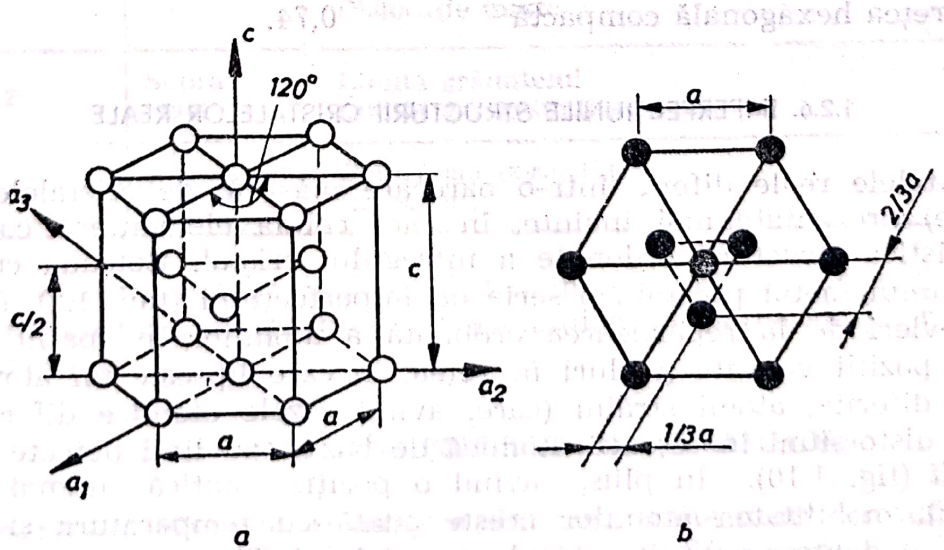


Fig. 1.8. Sistemul hexagonal compact.

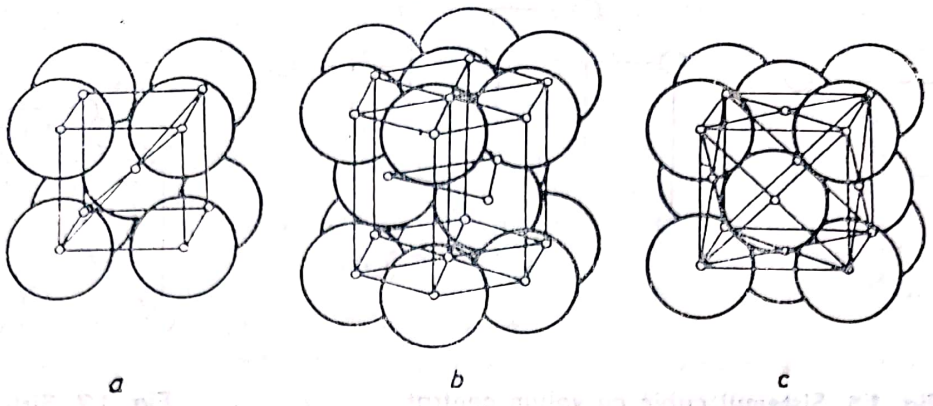


Fig. 1.9. Poziția atomilor pentru diverse grade de compactitate.

1.2.5. SISTEMUL TETRAGONAL

Față de sistemul cubic, în sistemul tetragonal parametrul c este mai mare decît a, iar $a=b$. La metale sistemul poate fi numai cu volum centrat sau cu fețe centrate. De exemplu, cu fețe centrate cristalizează Sn β (alb), Mn δ ș.a.

Reprezentînd în mod simplificat atomii sau ionii printr-o sferă corespunzătoare stratului exterior al electronilor, în celulele elementare ale rețelelor atomice aceste sfere sînt tangente, așa cum rezultă din figura 1.9. Deși în această așezare compactă sferele se ating, totuși ele vor ocupa numai o parte din spațiul total al rețelei. Raportul dintre volumul ocupat de sfere (atomi) și volumul total al rețelei se numește *grad de compactitate* și are pentru rețelele studiate următoarele valori:

— rețea cubică simplă 0,52

— rețea cubică cu volum centrat 0,68

— rețea cubică cu fețe centrate 0,74

— rețea hexagonală compactă 0,74.

1.2.6. IMPERFECȚIUNILE STRUCTURII CRISTALELOR REALE

Cristalele reale diferă, într-o oarecare măsură, de cristalele ideale (perfecte) prezentate mai înainte, în care celula elementară constituia caracteristica structurii ordonate a întregului cristal. Rețeaua cristalină reală a unui metal prezintă o serie de imperfecțiuni (tab. 1.2), datorate unor devieri de la repartizarea ordonată a atomilor în spațiu, puncte defecte, poziții vacante (noduri în rețea, în care lipsește un atom), impurități diferite, atomi străini (care, avînd razele atomice diferite, generează distorsiuni în rețeaua atomică de bază) sau linii defecte numite *dislocații* (fig. 1.10). În plus, avînd o poziție statică numai la 0°K (—273°C), mobilitatea atomilor crește odată cu temperatura și aceștia tind să se deplaseze în interiorul materialului. Toate aceste imperfecțiuni ale rețelei cristaline reale înlesnesc *difuziunea* atomilor în interio-

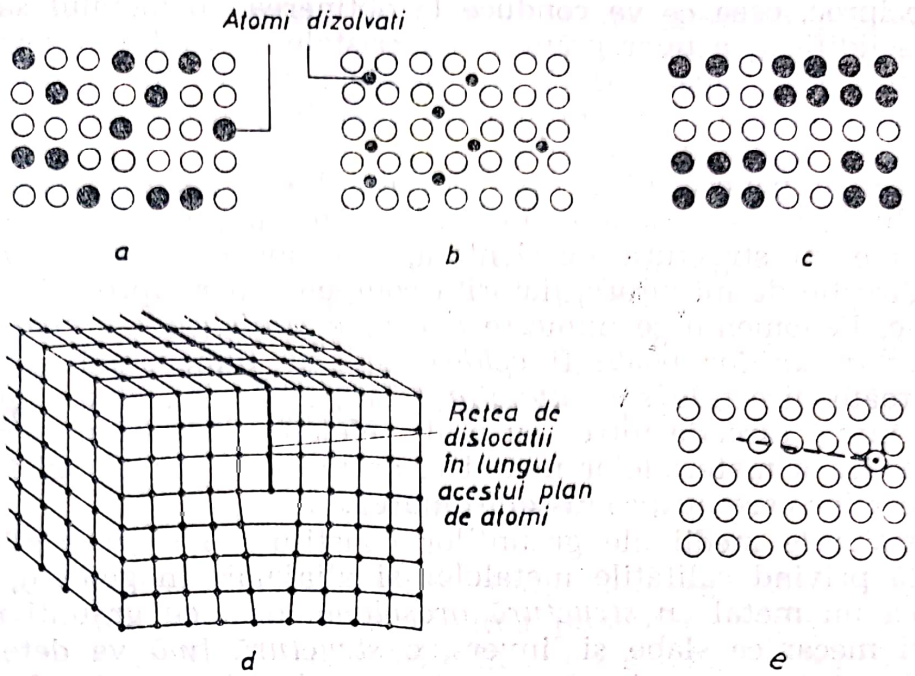


Fig. 1.10. Scheme ale imperfecțiunilor rețelei cristaline:
a — substituție; **b** — interstiție; **c** — faze mixte; **d** — dislocații; **e** — pereche vacanță–interstiție.

TABELUL 1.2

Imperfecțiunile structurii cristaline

Numărul dimensiunilor defectului	Tipul	Denumirea defectului
0.	Punct	Vacanță Interstiție Pereche vacanță-interstiție Impuritate în substituție Impuritate în interstiție
1.	Linie	Dislocație marginală Dislocație elicoidală Dislocație mixtă
2.	Suprafață	Limita grăuntelui Limita a 2 grăunți gemeni
3.	Volum	Goluri sau porozități Incluziuni

rul unui corp cristalin. Pe acest fenomen se bazează o serie de procese metalurgice: tratamentele termochimice, formarea aliajelor în timpul sinterizării ș.a.

1.2.7. STRUCTURA POLICRISTALINĂ A METALELOR

De regulă, metalele și aliajele sînt constituite dintr-un număr foarte mare de cristale mici, formînd *agregate cristaline* (grăunți). În timpul cristalizării, creșterea grăunților este limitată cînd aceștia încep să se

Scanned with OKEN Scanner

atingă reciproc, ceea ce va conduce la obținerea, în metalul sau aliajul complet solidificat, a unor grăunți sau cristale cu contur neregulat. Fiecare grăunte este separat, față de cristalele vecine, de o suprafață tridimensională numită *limita grăuntelui* cristalin, cu structură diferită de aranjamentul atomic al cristalului.

Agregatele policristaline sînt formate din cristale distincte, cu rețea cristalină proprie orientată întîmplător în spațiu. Astfel de agregate policristaline cu structură neorientată, vor avea aceleași proprietăți, în orice direcție de măsurare, datorită compensării reciproce între cristalele vecine. Fenomenul se numește *izotropie statistică* sau *cvaziizotropie.*

Forma grăunților poate fi *echiaxială* cu dimensiuni aproximativ egale în toate direcțiile sau *alungită* (chiar fibroasă), cînd dimensiunile măsurate într-o direcție întrec cu mult celelalte dimensiuni. Prin deformarea plastică a materialelor metalice, grăunții se vor alungi funcție de direcția forțelor care au produs deformarea.

Dimensiunile medii ale grăunților constituie o caracteristică foarte importantă privind calitățile metalelor și aliajelor. În general, se poate constata că un metal cu *structură grosolană,* deci cu grăunți mari, are proprietăți mecanice slabe și, invers, o *structură fină* va determina ca materialul metalic respectiv să prezinte proprietăți mecanice foarte bune.

1.3. TOPIREA ȘI SOLIDIFICAREA METALELOR ȘI ALIAJELOR

1.3.1. TOPIREA METALELOR

Mobilitatea atomilor crește cînd temperatura depășește zero absolut (—273°C). Aceștia execută permanent o mișcare oscilatorie în jurul poziției lor medii. La temperaturi ridicate, datorită agitației termice mari, legăturile dintre atomi se rup și aceștia, deveniți liberi, vor începe mișcarea Browniană. Fenomenul marchează trecerea metalului în stare lichidă.

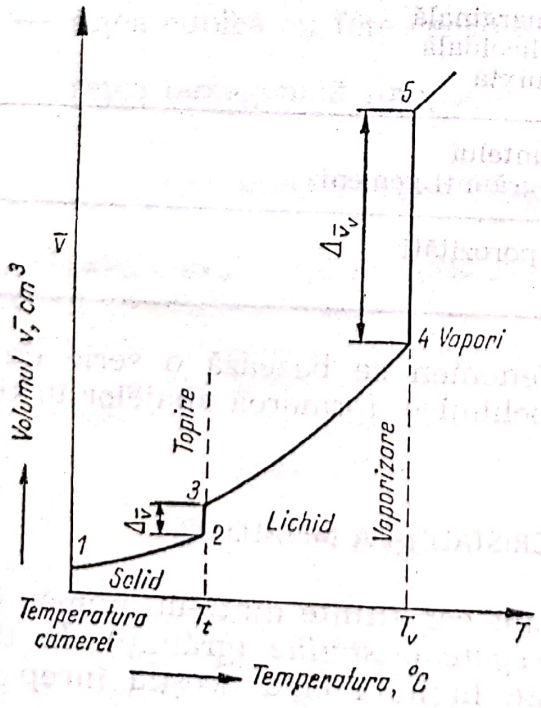


Fig. 1.11. Diagrama topirii și vaporizării metalelor.

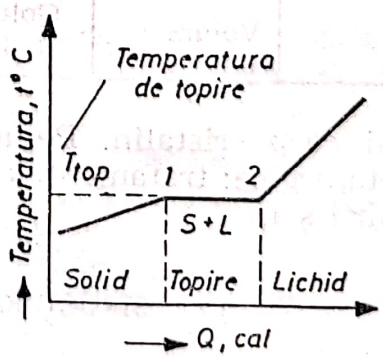


Fig. 1.12. Diagrama consumului de căldură la topirea metalelor pure.

Fiecare metal se topește la o anumită temperatură numită *punct critic de topire*, care va avea aceeași valoare la presiune și viteză de încălzire constante. La trecerea metalului din starea solidă în cea lichidă are loc o creștere bruscă de volum de 2 ... 4% (fig. 1.11), excepție făcînd galiul și bismutul. Fenomenul se repetă și la vaporizare. Proprietățile metalelor vor fi corespunzătoare stărilor de agregare (solid, lichid, vapori).

Funcție de cantitatea de căldură primită de metal, temperatura acestuia crește continuu, mai rapid în faza lichidă (fig. 1.12). În timpul topirii temperatura rămîne constantă, cînd întreaga cantitate de căldură primită *(căldura latentă de topire* — o constantă pentru fiecare metal) se consumă pentru trecerea metalului în stare lichidă.

1.3.2. SOLIDIFICAREA METALELOR

Analiza termică, folosită pentru studierea comportării metalelor la încălzire și răcire, permite determinarea punctelor critice de topire și de cristalizare, cum și transformările în stare solidă. Se constată, astfel, că fiecare metal pur se solidifică la o anumită temperatură, constantă și mai mică decît temperatura de topire. Diferența de temperatură între punctele critice de topire și cristalizare, se numește *histerizis termic.*

Prin măsurarea temperaturii la intervale de timp egale, se obține curba de răcire a metalului (fig. 1.13), în care transformarea fazei lichide în fază solidă este însoțită de căldura latentă de solidificare (în diagramă porțiunea orizontală *2, 3* și *4* a curbei de răcire). Continuînd micșorarea temperaturii, se va produce modificarea structurii în fază solidă, transformarea fiind însoțită de o căldură latentă de transformare (porțiunea discontinuă a curbei de răcire).

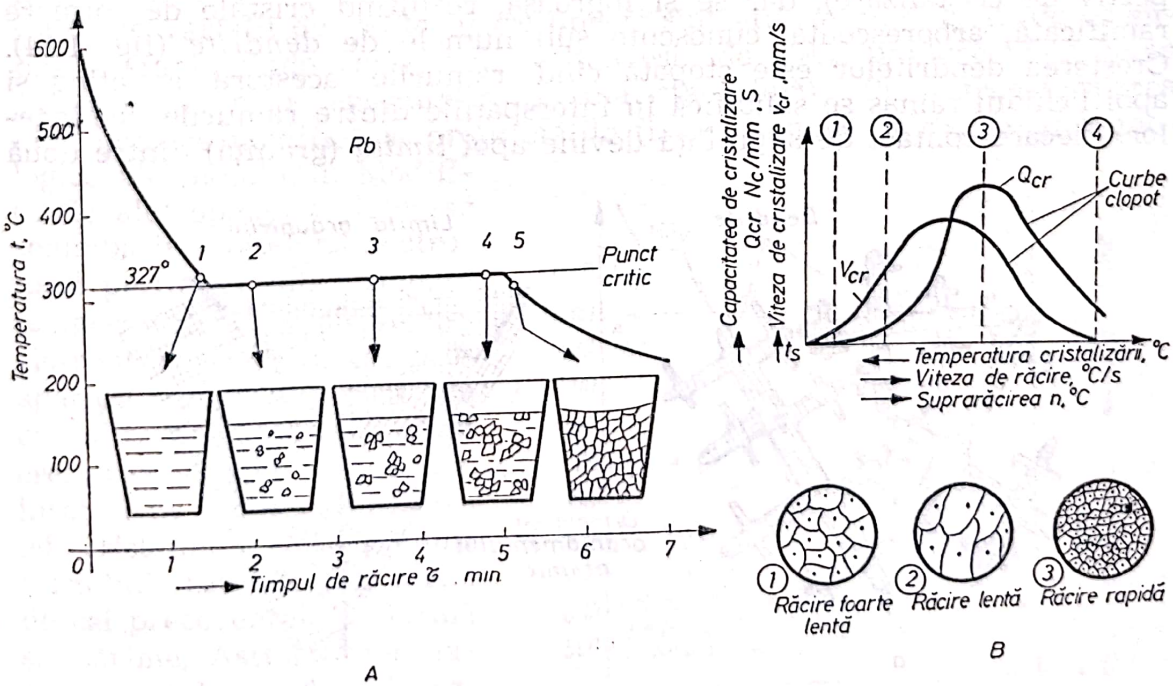


Fig. 1.13. Diagrama de răcire (cristalizare) a plumbului *(A)*. Mărimea grăunților *(B)* funcție de viteza de cristalizare (V_{cr}) și de capacitatea de cristalizare (Q_{rc}).

Scanned with OKEN Scanner

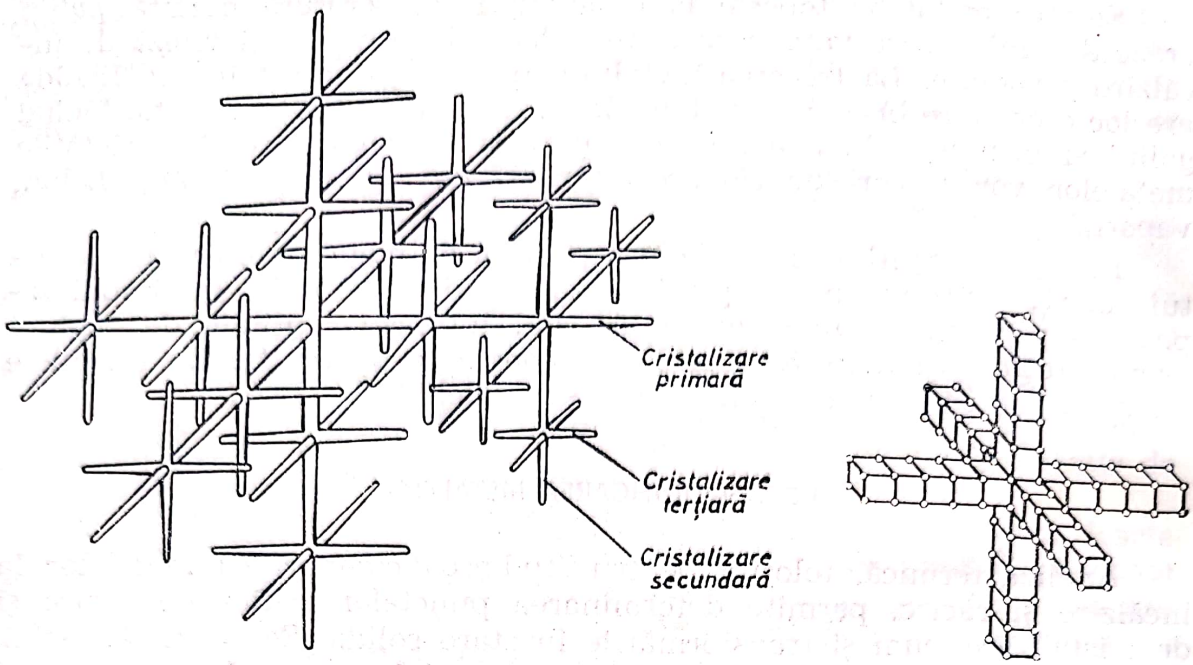


Fig. 1.14. Creșterea liberă tridimensională a unui cristal dendritic.

Solidificarea cu formarea structurii cristaline din metal topit se numește *cristalizare primară*. Aceasta are loc după anumite legi, după care se formează rețelele cristaline. Cristalizarea se produce prin mecanismul de nucleație, urmat de creșterea cristalelor. Astfel, mici nuclei (germeni sau centri de cristalizare) se formează în diferite părți ale topiturii, care apoi cresc pe seama lichidului înconjurător, pînă cînd întregul volum se solidifică. În timpul procesului de răcire, nucleii cresc mult mai rapid de-a lungul direcțiilor principale cristalografice (specifice sistemului respectiv de cristalizare); dar se și îngroașă, rezultînd cristale de formare ramificată, arborescentă, cunoscute sub numele de *dendrite* (fig. 1.14). Creșterea dendritelor este stopată cînd ramurile acestora se ating și apoi lichidul rămas se solidifică în interspațiile dintre ramurile dendritelor. Fiecare contact de suprafață devine apoi *limită* (graniță) dintre două

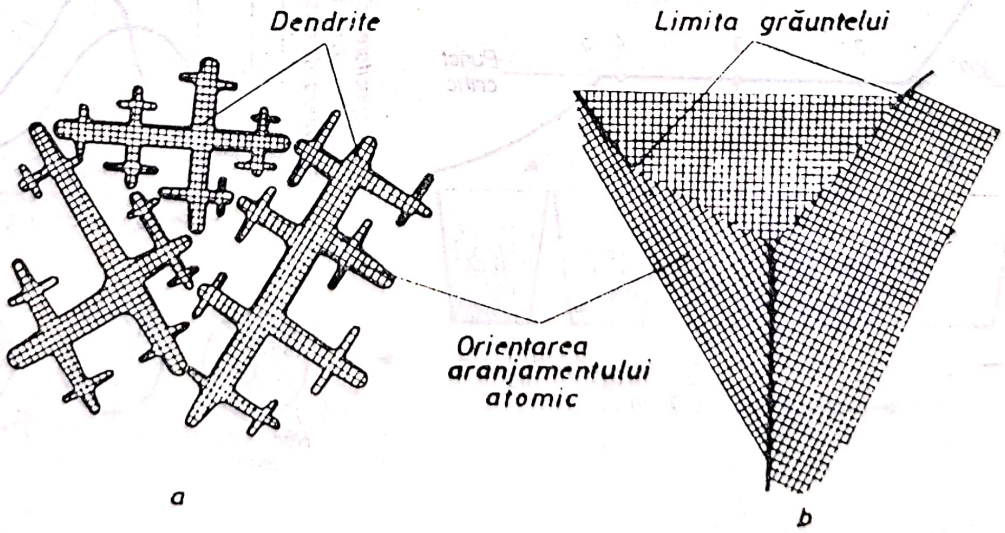


Fig. 1.15. Schema întrepătrunderii dendritelor (*a*) și formării grăunților cristalini în fiecare dendrită (*b*).

Scanned with OKEN Scanner

cristale. Astfel, fiecare germen de cristalizare (nucleu) original va produce un cristal propriu al lui, separat de grăunții cristalini vecini, prin limita grăunților (fig. 1.15). Mărimea cristalelor rezultate diferă funcție de momentul apariției germenului de cristalizare respectiv și de timpul disponibil de creștere. În plus, dacă numărul nucleilor formați la răcire este mic, structura policristalină rezultată va fi grosolană (fig. 1.13, B-2). În condiții limită — un singur nucleu — va rezulta numai un singur cristal.

La începutul solidificării, cristalizează mai întîi metalul pur, iar restul materialului, care solidifică în spațiile libere dintre dendrite, este mai puțin pur. Structura rezultată se numește *segregație dendritică,* care poate fi pusă în evidență cu ajutorul microscoapelor metalografice.

Centrii de cristalizare pot fi germeni proprii (părticele de metal netopite) sau germeni străini netopiți, formați din impurități sau elemente de aliere cu temperatură de topire mai ridicată.

1.4. TRANSFORMĂRILE ALOTROPICE ALE METALELOR

Funcție de temperatură, metalele pot avea structuri cristaline diferite, proprietate numită *alotropie* sau *polimorfism,* iar trecerea de la un sistem de cristalizare la altul se numește *modificare* (transformare) *alotropică.* Aceste modificări se petrec la temperaturi constante (așa cum s-a văzut și la solidificarea sau topirea metalelor), numite *puncte critice de transformare alotropică.* Modificările alotropice au loc cu absorbție sau degajare de căldură, numită *căldură latentă de transformare.* Pe curba de răcire, punctele critice de transformare alotropică sînt reprezentate prin paliere. Fazele alotropice se notează, în sensul creșterii temperaturii, cu literele α, β, γ, δ etc. Modificările alotropice sînt însoțite de variații de volum (care uneori sînt atît de mari încît, de exemplu la staniu unde variația de volum este de 25%, produce distrugerea materialului prin așa-numita „ciuma staniului"). Prin transformarea alotropică se modifică și proprietățile fizice, chimice, mecanice și tehnologice ale metalului. Modificările alotropice se datoresc schimbării orbitelor electronilor periferici sub influența temperaturii. Transformarea alotropică se produce prin apariția unor germeni de cristalizare în fază solidă și creșterea cristalelor fazei noi, însoțită de modificarea rețelei cristaline. Noii grăunți cristalini rezultați vor diferi de cei precedenți prin formă și mărime. Astfel proprietățile metalului, legate de rețeaua cristalină, se vor modifica.

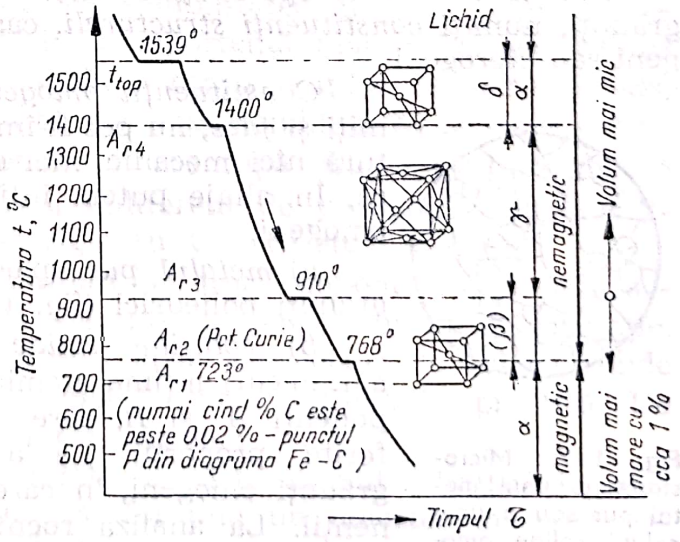


Fig. 1.16. Transformările alotropice ale fierului pur.

Scanned with OKEN Scanner

Transformările alotropice ale fierului urmează curba de răcire a fierului pur (fig. 1.16). Pe primul palier la 1 539°C, are loc solidificarea fierului. Punctele critice se notează cu *Ar* la răcire și la încălzire cu *Ac*. Transformările alotropice ale fierului pot fi: între 1 539°C și 1 400°C este stabil fierul α, care se mai notează uneori și cu δ, cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat; între 1 400°C și 910°C, fierul γ, în sistemul cubic cu fețe centrate; sub 910°C este stabil fierul α, care revine la sistemul de cristalizare cubic cu volum centrat. Pînă la 768°C (punctul Curie — A_2) fierul α este magnetic, iar peste această temperatură își pierde proprietățile magnetice, fenomen datorită căruia faza α, stabilă între 768°C și 910°C, se notează cu β, deși are același sistem de cristalizare (cub cu volum centrat).

Punctul critic Ar_1 nu apare pe curba de răcire a fierului pur, fiind caracteristic oțelurilor cu peste 0,02% C. Fierul α, datorită sistemului de cristalizare, dizolvă maximum 0,02% C la 723°C, formînd soluția solidă *ferită*, față de fierul γ care dizolvă pînă la 2% C la 1 147°C, dînd soluția solidă *austenită*.

La încălzire, transformarea α→γ este urmată de o micșorare de volum cu circa 1%, cum și de formarea unui număr mare de centre de cristalizare, germenii unor grăunți cristalini foarte fini. Această structură fină, care conferă proprietăți superioare metalului, se menține și după transformarea inversă γ→α. Fenomenul este des aplicat în cazul tratamentelor termice.

1.5. ALIAJELE ȘI CONSTITUENȚII LOR STRUCTURALI

Aliajelele sînt materiale complexe, obținute prin difuziune din doi sau mai mulți *componenți*, dintre care cel puțin unul, cel de bază, este metal.

Funcție de numărul componenților, sistemele de aliaje pot fi *binare* (Cu—Zn, Fe—C etc.), *ternare* (Fe—C—Ni, Al—Si—Cu etc.) sau *polinare*, cum sînt de exemplu oțelurile rapide, care conțin Fe—C—W—Cr—V—Co și eventual Mo.

Privite la microscop, aliajele sînt alcătuite dintr-un complex de grăunți, numiți *constituenți structurali*. care pot fi de două feluri: omogeni sau eterogeni.

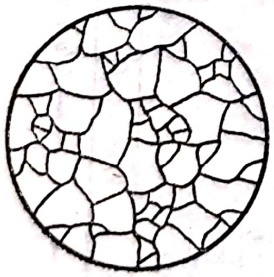


Fig. 1.17. Microstructura unui metal pur sau a unei soluții solide omogene.

Constituenții omogeni ai structurii aliajelor, numiți și *faze*, nu pot fi împărțiți în elemente de altă natură nici mecanic, nici optic, ci numai pe cale chimică. În aliaje putem întîlni trei feluri de constituenți omogeni.

a) metalul pur apare la microscop, sub formă de grăunți poliedrici (fig. 1.17);

b) soluțiile solide (sau cristalele mixte) sînt amestecuri intime atomice de difuziune între doi componenți *A* și *B*, care se pot dizolva reciproc în diferite proporții. La analiza metalografică prezintă grăunți omogeni, în care nu se pot identifica componenții. La analiza roentgenografică se observă un singur tip de rețea cristalină, cea a solventului.

Scanned with OKEN Scanner

c) compușii chimici se formează din elementele *A* și *B* în proporție definită, exprimată de formula A_mB_n, au o rețea cristalină proprie, diferită de a elementelor *A* și *B* și au o temperatură de topire caracteristică fiecărui aliaj. Spre exemplu, cementita din sistemul fier-carbon, cu formula Fe_3C, are o rețea cristalină ortorombică, conținutul de carbon este de 6,67% și se topește la circa 1 600°C. Compușii chimici sînt duri și fragili.

Soluțiile solide pe baza unui compus chimic apar atunci cînd într-un compus chimic A_mB_n se dizolvă unul din componenții lui, *A* sau *B*, sau un alt element *C*. Ca exemplu în oțelurile aliate se întîlnește cementita aliată cu W, cînd wolframul se dizolvă în Fe_3C.

Compușii electronici se caracterizează printr-un raport bine determinat între numărul electronilor de valență și numărul de atomi. Fiecărui raport îi corespunde o rețea cristalină proprie și o formulă de combinație chimică. Acești compuși electronici se întîlnesc în multe aliaje tehnice din sistemele Cu—Zn, Cu—Sn, Cu—Si, Fe—Al etc.

Constituenții eterogeni sînt formați din două sau mai multe faze, (ex. eutectoidul și eutecticul). Fazele pot fi identificate la microscop sau pot fi separate prin mijloace mecanice.

1.6. TIPURI DE DIAGRAME DE ECHILIBRU

Experiența a arătat că toate diagramele de echilibru ale aliajelor binare pot fi reduse la numai cîteva tipuri de bază. Prin combinarea acestor sisteme de bază rezultă diagramele de echilibru mai complexe ale aliajelor binare tehnice.

1.6.1. CLASIFICAREA ALIAJELOR BINARE

Sistemele de aliaje, respectiv diagramele de echilibru care le caracterizează, se pot clasifica după solubilitatea componenților în stare lichidă, respectiv în stare solidă. Deoarece solubilitatea în stare lichidă prezintă din punct de vedere practic o importanță mai mică, majoritatea sistemelor avînd o solubilitate totală a componenților în stare lichidă, ne vom referi la tipuri de aliaje binare după solubilitatea în stare solidă:

1. *sisteme cu solubilitate totală,* în care după solidificare se formează o singură soluție solidă omogenă, indiferent de proporția componenților. De exemplu Sb—Bi, Cu—Ni, Ag—Au, Co—Ni etc.;

2. *sisteme cu solubilitate limitată,* a căror componenți formează soluții solide, în anumite limite de concentrații, pînă la limita de saturație. În celelalte intervale de concentrații apar amestecuri de soluții solide saturate. Aceasta este cazul cel mai frecvent întîlnit în practică. De exemplu Fe—C, Cu—Sn, Cu—Zn, Cu—Al etc.;

3. *sisteme cu insolubilitate totală,* unde în timpul solidificării componenții se separă din faza lichidă, formînd un amestec mecanic. De exemplu Pb—Sb, Fe—Pb, Ag—Pb etc.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

1.6.2. ALIAJE INSOLUBILE SAU PARȚIAL SOLUBILE ÎN STARE LICHIDĂ

a) Insolubilitatea în stare lichidă și în stare solidă. Dacă între două metale, de exemplu fier-plumb, nu există solubilitate reciprocă nici în stare lichidă și nici în stare solidă, nu se manifestă nici o influență reciprocă asupra temperaturilor de solidificare, iar diagrama de echilibru (fig. 1.18) este împărțită în trei domenii de fază prin linia *L* lichidus și *S* solidus, corespunzătoare punctului de topire al fierului 1 535°C și al plumbului 327°C. Fenomenul decurge astfel: la răcire, se solidifică întîi fierul și apoi plumbul încît, în stare complet solidă, „aliajul" se prezintă sub forma a două straturi suprapuse de greutăți specifice diferite (Pb: γ=11,34 g/cm^3 și Fe: γ=7,87 g/cm^3).

Formarea unor astfel de stratificări, în care cele două metale (Fe și Pb) nu se aliază datorită diferenței sensibile de greutate specifică și temperatură de topire, se numește *segregație după densitate.*

b) Solubilitatea în stare lichidă. Dacă două metale sînt parțial solubile în stare lichidă, de exemplu Pb—Zn, temperaturile la început de solidificare coboară diferențiat funcție de participare, pînă cînd la răcire dizolvantul se separă în stare pură, conform diagramei de echilibru prezentată în figura 1.19.

În stare lichidă Zn dizolvă o cantitate de Pb formînd topitura T_1, iar Pb dizolvă o cantitate de Zn care formează topitura T_2. Solubilitatea ambelor metale crește cu temperatura fiind completă la temperaturi peste 798°C.

Capacitatea maximă de dizolvare a topiturii T_1 pentru Pb, funcție de temperatură este reprezentată de ramura de curbă *AB*, iar capacitatea maximă de dizolvare a topiturii T_2 pentru Zn prin ramura *BC*.

La 798°C compoziția topiturii T_1 este identică cu cea a topiturii T_2, iar deasupra există o singură topitură omogenă *T*. Curba *ABC* se nu-

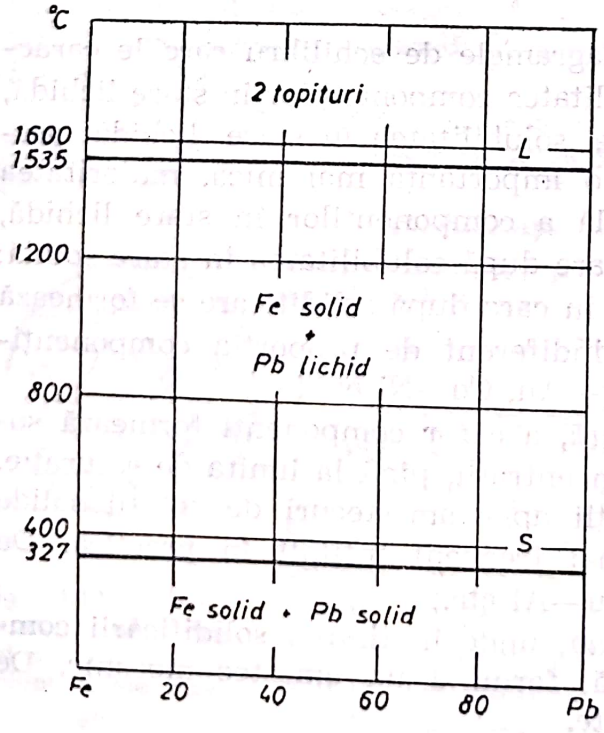


Fig. 1.18. Diagrama insolubilității totale (Fe–Pb).

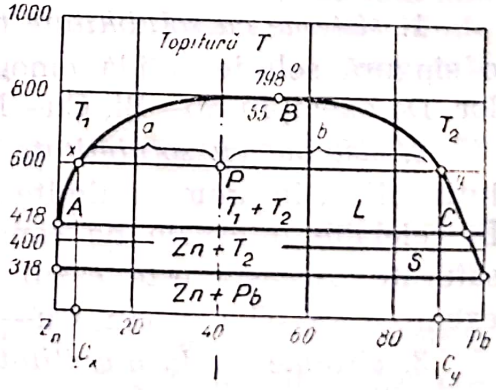


Fig. 1.19. Diagrama solubilității în stare lichidă (Pb–Zn).

meşte *curba de solubilitate în stare lichidă*. Sub această curbă aliajele sînt bifazice alcătuite din două topituri T_1 şi T_2, iar deasupra monofazice, T_1 sau T_2 după concentraţia aliajului. În stare complet solidificată aliajul prezintă două straturi suprapuse de Zn şi Pb.

Segmentele orizontale x şi y, care merg de la o linie de separaţie a unui domeniu bifazic pînă la cealaltă se numesc *conode*. Conodele arată ce faze se găsesc în echilibru la o anumită temperatură, iar segmentele a şi b ale conodei indică proporţiile cantitative ale fazelor în echilibru conform regulii pîrghiilor ($a \cdot M_{T_1} = b \cdot M_{T_2}$), dacă $M_{T_1} = \frac{b}{a+b} 100\%$

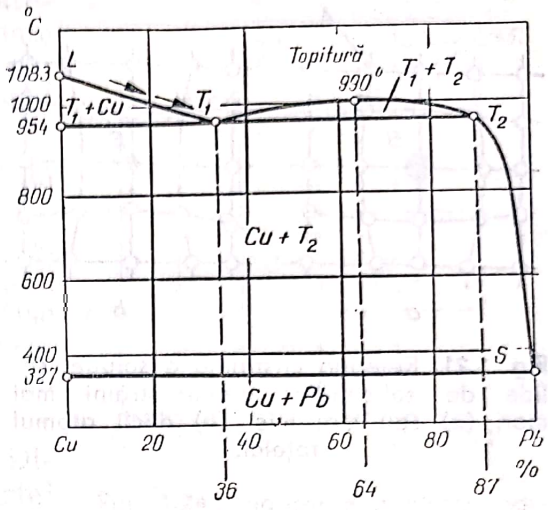


Fig. 1.20. Diagrama solubilităţii mărite în stare lichidă (Cu–Pb).

şi $M_{T_2} = \frac{a}{a+b} 100\%$ reprezintă cantităţile de topitură T_1 respectiv T_2 în procente.

c) Solubilitatea mărită în stare lichidă. Dacă solubilitatea în stare lichidă se măreşte, domeniile monofazice ale topiturilor omogene se lărgesc, în timp ce domeniile celor de solubilitate parţială se micşorează.

Ca exemplu, se dă un aliaj Cu—Pb (fig. 1.20). Domeniul bifazic, format din topitura T_1+topitura T_2, este limitat la 954°C între concentraţiile 36—87% Pb. La conţinuturi de plumb mai mici este stabilă topitura omogenă T_1 bogată în Cu, iar la conţinuturi de Pb mai mari este stabilă topitura omogenă T_2 bogată în Pb.

În timp ce solidificarea aliajelor cu 36—100% Pb decurge asemănător solidificării aliajelor cu solubilitate redusă în stare lichidă, solidificarea aliajelor Cu—Pb bogată în Cu prezintă unele particularităţi. Astfel, dacă se răceşte un aliaj cu 90% Cu şi 10% Pb din domeniul topiturii T_1, la linia lichidus L (1 046°C) se separă cristalele de Cu şi topitura devine mai săracă în Cu şi mai bogată în Pb pe măsură ce temperatura scade, compoziţia variind de-a lungul liniei L.

La 954°C procesul de cristalizare primară se termină şi începe separarea cristalelor de Cu la temperatură constantă, iar restul de topitură T_1 devine săracă în Cu şi trece discontinuu în topitura T_2 cu concentraţia 87% Pb+13% Cu.

Transformarea unei topituri (T_1) prin separarea unui cristal solid (Cu) într-o topitură cu altă compoziţie (T_2), topitura iniţială şi cea finală nefiind solubile una în alta, se numeşte *reacţie monotectică* (simbolic $T_1 \xrightarrow{t=954°C} T_2 + Cu$).

După reacţia monotectică, T_1 s-a consumat şi aliajul rezultat constă din cristale de cupru şi topitură T_2. La răcire în continuare se separă restul de Cu, corespunzător liniei de solubilitate a topiturii T_2, iar la temperatura solidus (327°C) topitura T_2 constă din Pb practic pur şi se solidifică la temperatura constantă.

Scanned with OKEN Scanner

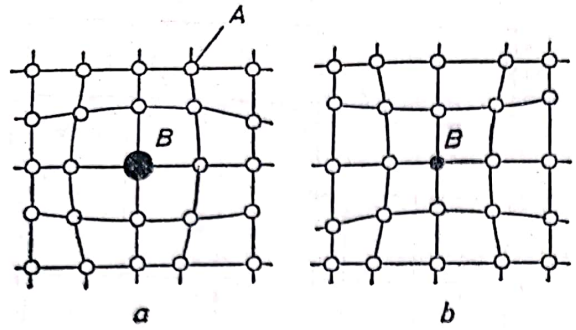


Fig. 1.21. Rețeaua cristalină a soluției solide de substituție: atomi străini mai mari (*a*) sau mai mici (*b*) decît atomul rețelei.

În mod asemănător decurge solidificarea aliajelor care conțin de la 100—64% Cu. La solidificarea aliajelor cu conținut de Cu sub 64%, T_1 trece prin separarea Cu în T_2, iar la 328°C topitura este practic fără cupru și se solidifică la temperatură constantă.

1.6.3. ALIAJE TOTAL SOLUBILE ÎN STARE SOLIDĂ

Este cunoscut faptul că un mare număr de metale permit introducerea și plasarea în rețeaua lor cristalină a unor atomi, respectiv ioni metalici, prin difuziune, rezultînd o soluție solidă de substituție sau de interstiție în funcție de modul de plasare a atomilor în rețea. Practic, fenomenul are o importanță deosebită deoarece poate produce o modificare sensibilă a proprietăților metalului de bază.

a) Constituția atomică a cristalelor de soluții solide. Înlocuirea atomilor A ai rețelei de bază prin atomi străini B (fig. 1.21), la soluțiile solide liniare de substituție, produce deranjamente în rețea datorită mărimii diferite a atomilor A și B și determină apariția unor tensiuni în rețea. Tensiunile cresc cu concentrația C_B a cristalului de soluție solidă pînă la o limită superioară corespunzătoare concentrației limită sau solubilității. Cu cît diferența între diametrele atomilor A și B este mai mare, cu atît se va atinge starea critică de tensiune și, deci, limita de solubilitate la concentrații C_B mai mici; factorul de mărime cel mai favorabil formării soluției solide fiind sub $\pm 14\%$. Afară de aceasta, solubilitatea este influențată și de valența chimică în sensul că cu cît diferența între diametrele atomilor A și B este mai mare, cu atît capacitatea de formare a soluțiilor solide este mai mică.

În cazul soluțiilor de interstiție, formate prin pătrunderea unui element cu diametrul atomic foarte mic (H, N, C) solubilitatea maximă este relativ mică, datorită tensionării puternice a rețelei de către atomii interstițiali. La soluții solide ternare (fig. 1.22), cuaternare etc. solubilitatea unui element scade datorită acumulării tensiunilor produse de cele-

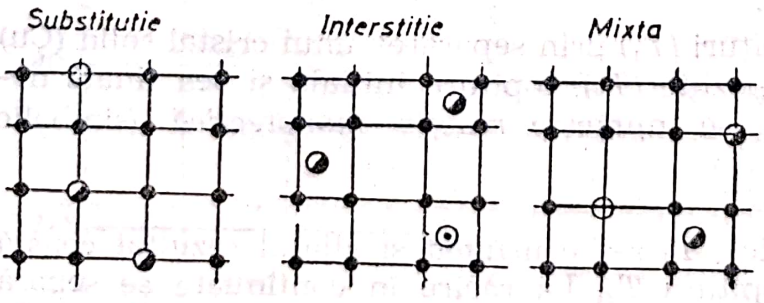


Fig. 1.22. Rețeaua cristalină a soluției solide de substituție, interstiție, și mixtă.

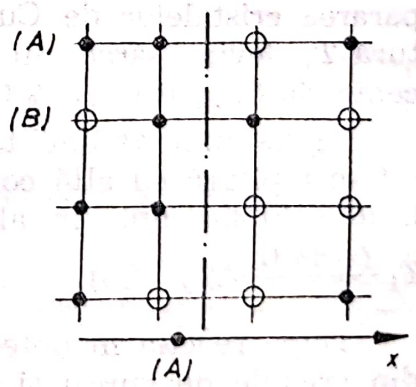


Fig. 1.23. Schema difuziunii atomilor între două părți de cristal vecine.

lalte elemente dizolvate. Repartizarea atomilor adăugați în rețeaua de bază se poate face neordonat, statistic sau ordonat prin existența unei suprastructuri ce îmbină două structuri diferite.

O soluție solidă nu poate fi deosebită la microscop de un metal pur, în structură se vede macroscopic și microscopic un constituent structural unitar, omogen. În consecință determinările mai precise de concentrație trebuie să se execute prin metode chimice sau prin analiza cu raze X.

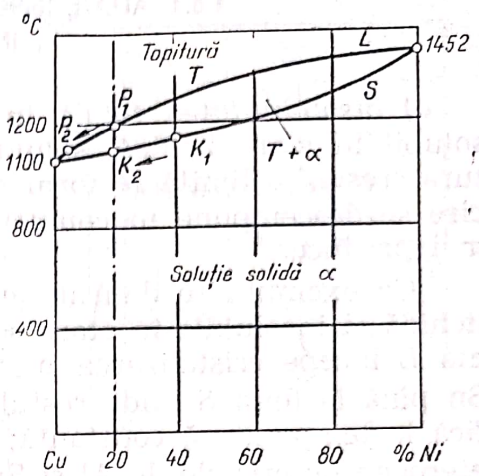


Fig. 1.24. Diagrama aliajelor care formează serii izomorfe de soluții solide.

b) Legile de bază ale difuziunii. Difuziunea atomilor se face pe baza forței create de diferența concentrațiilor a două părți de cristal vecine (fig. 1.23) și pe baza influenței oscilațiilor termice care produc transportul de atomi pînă la uniformizare. Cantitatea de atomi m_A [g], care se deplasează cu Δx [cm] în direcția x în timpul t [s] prin secțiunea S [cm²] datorită diferenței de concentrație ΔC_A [g/cm³], este dată de legea difuziunii a lui Fick:

$$m_A = -D\left(\frac{\Delta C_A}{\Delta x}\right)\cdot St \text{ [g], în care}$$

$$D = D_0 \cdot e^{-Q/RT} \text{ [cm}^2\text{/s]}$$

reprezintă *constanta de difuziune* a aliajului, Q fiind energia de activitate a difuziunii, R fiind constanta gazelor, T temperatura, iar D_0 o constantă. Importanța constantelor de difuziune rezultă mai clar din formula distanței medii X [cm] de difuziune a atomilor $X^2 = 2 \cdot D \cdot t = 2D_0 \cdot e^{-Q/RT} \cdot t$; din relație rezultă că distanța parcursă de atomi crește cu temperatura și cu timpul.

c) Aliaje care formează serii izomorfe de soluții solide. Pentru ca două metale să formeze în stare solidă serii izomorfe de soluții solide, trebuie îndeplinite următoarele condiții:

1 — să fie complet solubile în stare lichidă;

2 — să aibă același tip de rețea;

3 — să aibă parametrii rețelelor apropiați;

4 — să prezinte o asemănare chimică.

Ca exemplu se dă aliajele Cu—Ni din diagramă (fig. 1.24) care constă din 3 faze: o topitură omogenă T, domeniul bifazic $T+\alpha$ și domeniul monofazic al soluției solide α.

La solidificare, exemplu aliaj cu 80% Cu, compoziția topiturii T urmează linia L, iar compoziția soluției solide α urmează curba S, prin modificări continue; în același timp cantitatea soluției solide α separate crește, iar cantitatea restului de topitură scade conform regulei pîrghiei. Deoarece compoziția soluțiilor solide din sistemul de aliaje se modifică, rezultă că se modifică și proprietățile aliajelor dependente de compoziție după anumite legi.

Scanned with OKEN Scanner

a) Insolubilitatea totală în stare solidă. Dacă într-un sistem parțial solubil în stare lichidă, solubilitatea unei topituri pentru cealaltă topitură crește, la limită se formează o singură topitură omogenă, care la răcire se descompune în componentele sale, iar reacția monotectică nu se mai produce.

Ca exemplu se dau aliajele aluminiu—staniu total solubile în stare lichidă și insolubile în stare solidă (fig. 1.25). La răcirea topiturii sub linia *L* începe cristalizarea primară a Al pur cu îmbogățirea topiturii în Sn pînă la linia *S* unde restul topiturii de staniu aproape pur se solidifică la temperatură constantă; sub linia *S* aliajul constă dint-un amestec eterogen de cristale de Al și Sn.

b) Solubilitatea parțială în stare solidă. (Descompunerea eutectică). Sistemul Al—Sn considerat reprezintă un caz limită a unor sisteme mai generale numite *sisteme eutectice*. Ca exemplu se dau aliajele Pb—Sb (fig. 1.26). La solidificarea unui aliaj cu 95% Pb, sub linia *L* se separă cristale primare de soluție solidă α bogată în Pb; iar la *temperatura eutectică de 247°C* restul topiturii *T* se descompune la temperatură constantă cu formarea unui amestec fin eterogen de cristale de soluție solidă α și β, conform *reacției eutectice:* $T \xrightarrow{t=247^{\circ}C} (\alpha+\beta)$. De exemplu țevi de plumb, lagăre turnate sub presiune, aliaje tipografice.

La răcirea în continuare, soluția solidă (α+β) se modifică, corespunzător curbelor de solubilitate, prin *precipitarea* cristalelor β din soluția solidă α. În final, structura aliajului se compune din cristale primare de soluție α incluse într-o masă de soluții solide α și β numit *component structural eutectic*. La compoziția eutectică de 13% Sb și 87% Pb și la temperatura eutectică (247°C) se află *punctul eutectic*.

La solidificarea unui aliaj cu 70% Pb se separă cristale primare bogate în Sb la linia *L*, iar la temperatura eutectică de 247°C, restul de topitură cu compoziție eutectică se descompune în eutecticul (α+β), încît în final structura aliajului se compune din cristale primare de soluție solidă β înglobate eutectic.

În afară de descompunerea eutectică există și un alt mecanism caracteristic de reacție *peritectică* pentru formarea unui amestec de două

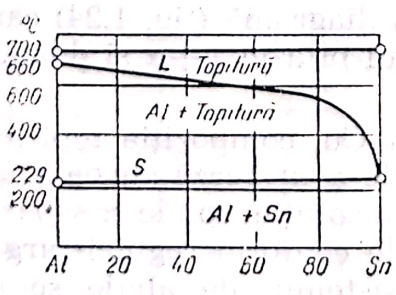


Fig. 1.25. Diagrama insolubilității totale în stare solidă.

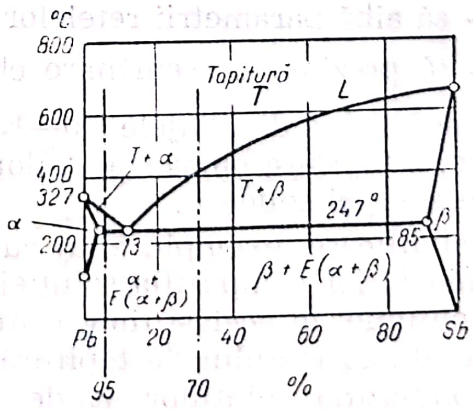


Fig. 1.26. Diagrama solubilității parțiale în stare solidă.

Scanned with OKEN Scanner

soluții solide dintr-o topitură omogenă. Fenomenele care au loc într-un *sistem peritectic* se pot urmări, de exemplu, în diagrama de echilibru Pt—Ag (fig. 1.27).

— *Aliajele cu 100—88% Pt* cristalizează ca soluțiile solide omogene, la linia *L* se separă cristale de soluție solidă α bogate în Pt și care la răcire se îmbogățește cu Ag din topitură prin difuziune. La linia *S* la aliajul (90% Pt), concentrația cristalelor primare de soluție solidă α este maximă, iar la linia de solubilitate (1 100°C) are loc precipitarea cristalelor de soluție solidă β bogate în Ag. La răcire completă, aliajul constă dintr-o masă de bază de soluție solidă α în care se include faza precipitată.

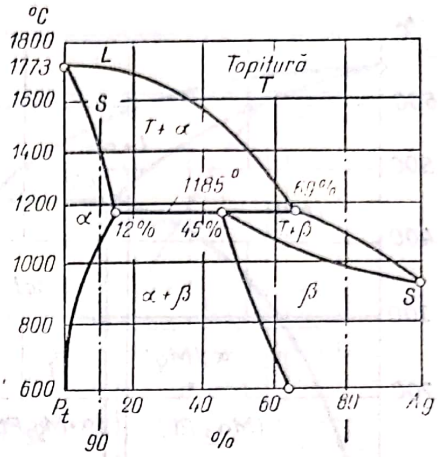


Fig. 1.27. Diagrama de echilibru Pt–Ag.

— *Aliajele cu 88—55% Pt* răcite separă la început cristale primare de soluție solidă α, restul topiturii reacționează peritectic, $T + \alpha \xrightarrow{t=1185} \beta$ cu soluția solidă α, cu formarea cristalelor de soluție solidă β. La răcire în continuare, din soluția solidă α precipită faza β, iar din soluția solidă β ⟶ faza α, în conformitate cu liniile de solubilitate.

— *La aliajele cu 55—31% Pt* prin răcirea topiturii se separă, la început cristalele primare de soluție solidă α, iar la temperatura peritectică și sub aceasta solidificarea continuă cu separarea din restul topiturii a cristalelor primare de soluție solidă β, care continuă să ia Ag din topitură prin difuziune. La linia *S* aliajul este complet solidificat. La continuarea răcirii, după atingerea curbei de solubilitate, începe precipitarea fazei α din soluție solidă β.

— *Aliajele cu 31—0% Pt* (exemplu 20% Pt), la răcire se separă cristale primare de soluție solidă β și în final se compun din soluție solidă omogenă β.

Proprietățile fizice și tehnologice ale aliajelor cu amestec mecanic depind de proprietățile fazelor prezente în amestec, de proporția acestor faze, de mărimea grăuntelui, de distribuția, forma și amplasarea reciprocă a fazelor.

Anumite proprietăți, ca conductibilitatea electrică, conținutul de căldură, dilatația termică, duritatea, variază liniar cu compoziția aliajului.

1.6.5. ALIAJE CU COMPUȘI DEFINIȚI

Între componenții unui aliaj se poate forma un compus definit cu proprietăți deosebite de acelea ale elementelor ce îl compun, fie între aliaje tipice ca Fe_3C, Fe_4N, WC. Proprietățile compușilor definiți se deosebesc cu atît mai mult de proprietățile metalice tipice cu cît: constituția rețelei cristaline este mai complicată; se deosebesc mai mult proprietățile atomilor din compus ca volum specific sau ca potențial electrochimic; se înlocuiesc mai mult legăturile metalice prin legături homeopolare sau heteropolare.

În general compușii definiți au o duritate și fragilitate mare. Ca exemplu se dă diagrama de echilibru a aliajelor Mg—Pb (fig. 1.28). Mg

Scanned with OKEN Scanner

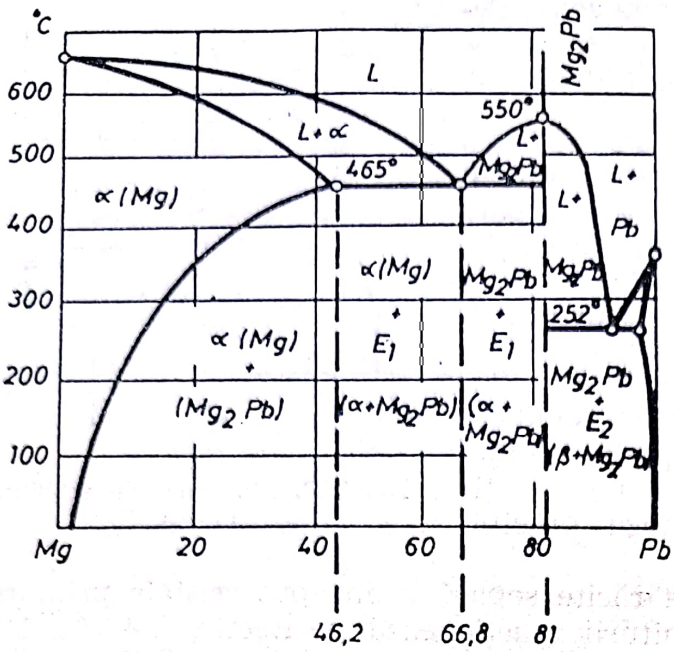


Fig. 1.28. Diagrama de echilibru MG–Pb.

este complet *miscibil* cu Pb în stare lichidă, iar în stare solidă solubilitatea Pb în Mg ajunge la 46,2% Pb la temperatura eutectică 465°C. Compusul definit *intermetalic* Mg_2Pb, are punct de topire definit la 550°C și formează cu Mg un eutectic $E_1(\alpha+Mg_2\cdot Pb)$ la 465°C și 66,8% Pb (punctul eutectic E_1), iar cu Pb un eutectic $E_2(\beta+Mg_2\cdot Pb)$ la 252°C.

Structura aliajelor cu 0—81% Pb este formată din cristale α de Mg și compusul definit, iar cele cu 81—100% Pb din cristale β de Pb și compusul definit.

La aliajele care trebuie forjate sau trase, proporția de compus definit nu trebuie să depășească o anumită valoare pentru a se putea menține plasticitatea aliajului.

1.6.6. ALIAJE CU TRANSFORMĂRI ÎN STARE SOLIDĂ

a) Variația solubilității în soluțiile solide. Variația cu temperatura a solubilității cristalelor de soluție solidă se reprezintă adeseori prin ecuația lui *van't Hoff:* $\log(X\%) = A - \frac{B}{T}$, în care X reprezintă conținutul de element dizolvat în procente atomice, T temperatura în K, iar A și B constantele soluției solide. Reprezentarea grafică a curbei de solubilitate, corespunzător ecuației lui van't Hoff, în funcție de concentrația C_B (a elementului dizolvat) și de temperatură pentru un compus metal—carbon sau carbură, conduce la diagrama din figura 1.29.

Soluția solidă omogenă γ este stabilă deasupra curbei de solubilitate *ab,* sub această curbă, la echilibru, pe lîngă faza γ există și cristale de carbură, care constituie *faza precipitată.* La o răcire rapidă sau *călire,* în domeniul soluției solide γ omogene, durata de difuziune a atomilor fiind prea scăzută precipitarea este împiedicată încît soluția solidă γ rămîne omogenă, păstrînd întreaga cantitate de carbon dizolvată.

Soluțiile solide, care nu au ajuns la echilibru, din cauza răcirii rapide și care prezintă o concentrație mai mare decît acea corespunzătoare echilibrului se numesc *suprasaturate.* Prin reîncălzire la temperaturi ce depășesc o temperatură critică și răcire lentă (revenire), se produce din nou precipitarea, cantitatea și mărimea fazelor precipitate depinzînd de temperatura și durata de revenire. Cu cît temperatura este mai înaltă și durata de revenire mai îndelungată, cu atît aliajul se apropie mai mult de starea de echilibru, iar fazele precipitate sînt mai grosolane.

Procesele de călire și revenire prezintă o importanță practică deosebită, deoarece permit modificarea esențială a caracteristicilor mecanice, fizice și tehnologice ale aliajului.

Scanned with OKEN Scanner

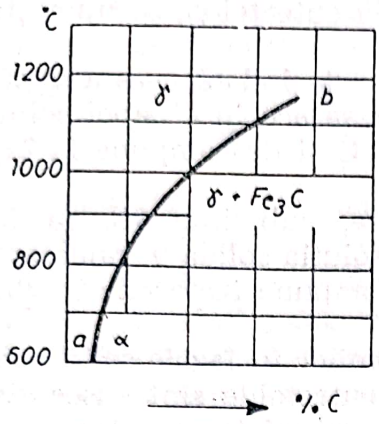


Fig. 1.29. Variația solubilității în soluțiile solide.

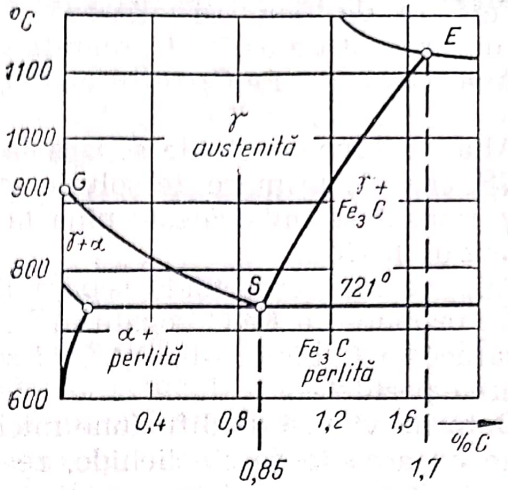


Fig. 1.30. Diagrama descompunerii eutectoide a soluțiilor solide.

b) Influența componenților cu modificări alotropice. Unele metale, ca fierul, manganul, cobaltul, prezintă modificări alotropice reversibile și la temperaturi definite. Aceste modificări alotropice influențează structura aliajelor, deoarece ele sînt însoțite de modificări ale rețelei cristaline care pot determina unele transformări în stare solidă, ca de exemplu o mărire sau micșorare a concentrației soluției solide.

Spre deosebire de metalele pure, la aliaje transformările alotropice se produc într-un interval de temperaturi, încît în cursul răcirii unui aliaj transformarea alotropică începe la o temperatură superioară și se termină la o temperatură inferioară. În interiorul domeniului de fază, delimitat de cele două temperaturi, modificările alotropice se găsesc în echilibru.

c) Descompunerea eutectoidă a soluțiilor solide. Numeroase soluții solide sînt stabile numai la temperaturi înalte; la răcire ele se descompun izotermic la o anumită temperatură în două feluri de cristale α și β cu compoziție și structură a rețelei diferite sub formă de amestec fin, regulat. Reacția se scrie sub forma $\gamma \xrightarrow{t=ct} (\alpha+\beta)$ și se numește *descompunere eutectoidă* a soluției γ în eutectoidul (α+β). Ca exemplu, se dă descompunerea eutectoidă a soluției solide γ, *austenită,* la oțeluri (fig. 1.30). Modificarea alotropică de temperatură înaltă Fe γ formează cu carbonul cristale de soluție γ cu solubilitate maximă pentru 1,7%C și 1 145°C și solubilitatea minimă la 0,85% C și la temperatură eutectoidă de 721°C în *punctul eutectoid S.* Domeniul soluției solide γ este delimitat în zona temperaturilor inferioare de curba *GSE.*

La răcirea unui aliaj eutectoid cu 0,85% C la temperatură eutectoidă de 721°C *are loc relația eutectoidă.*

γ (0,85% C) $\xrightarrow{t=721°C}$ α (0,02% C)+Fe_3C (6,67% C) deci soluția solidă γ se descompune într-un amestec fin de soluție solidă α și compusul fier—carbon Fe_3C sau *cementită.*

Soluția solidă α constă din modificarea alotropică Fe α, cubică centrată în spațiu, stabilă la temperaturi mai joase, cu maximum 0,02% C dizolvat în formă de soluție solidă de interstiție numită *ferită.*

Soluția solidă γ constă din modificarea alotropică de temperatură înaltă Fe γ, cubică cu fețele centrate, cu carbon dizolvat, în limitele 0,85—1,7% C în formă de soluție de interstiție.

Scanned with OKEN Scanner

Carbura de fier, cristalizează rombic şi conţine conform formulei Fe_3C un procent de 6,67% C, numită *cementită.*

Amestecul ($\alpha + Fe_3C$) rezultat din reacţia eutectoidă, se numeşte *perlită.*

Aliajele hipoeutectoide separă la răcire, de îndată ce s-a depăşit linia *GS,* cristale primare de soluţie solidă α sărace în *C,* apoi soluţia solidă γ rămasă se îmbogăţeşte pînă la 0,85% C şi descompune la 721°C în eutectoidul *perlită.*

Aliajele hipereutectoide separă la răcire, sub linia *SE,* la început cristale primare de Fe_3C bogate în C, apoi soluţia solidă γ rămasă devine mai săracă în C pînă la 0,85% C şi se descompune izotermic la 721°C cu formarea perlitei.

Datorită vitezei de difuziune mici a atomilor în fazele solide, în comparaţie cu acea în fazele lichide, reacţiile eutectoide sînt susceptibile la răcire, încît printr-o răcire rapidă se poate coborî temperatura transformării sau chiar să se împiedice complet reacţia eutectoidă. La oţeluri hipoeutectoide chiar la cea mai bruscă călire o parte din austenită se transformă în ferită α, în timp ce la oţelurile hipereutectoide formarea cementitei poate fi împiedicată la răcire rapidă.

d) Formarea suprastructurii în soluţie solidă. Unele soluţii solide prezintă la temperaturi înalte o repartiţie neordonată a atomilor în reţeaua cristalină, în timp ce la răcire repartizarea atomilor devine ordonată prin formarea unei suprastructuri.

Deoarece formarea suprastructurii este determinată de posibilitatea de deplasare a atomilor prin difuziune, repartizarea atomilor poate fi dirijată printr-o *călire* sau *revenire* în scopul de a îmbunătăţi anumite proprietăţi ale aliajului. De exemplu, duritatea unei soluţii solide călită, neordonată se poate mări printr-o revenire la temperaturi corespunzătoare, sau se poate mări rezistenţa electrică dacă se menţine faza neordonată a soluţiei solide printr-o călire corespunzătoare.

e) Formarea unui compus definit din soluţia solidă. Procesul de ordonare la răcirea unei soluţii solide neordonată poate să meargă atît de departe încît din soluţia solidă să nu se formeze o suprastructură ci un compus definit de forma *Am, Bn.* Această transformare, în stare solidă, spre deosebire de formarea de suprastructură, se manifestă prin apariţia în structură a unei faze noi cu proprietăţile diferite. Apariţia compusului definit în structură produce de obicei o puternică fragilitate făcînd aliajul neutilizabil tehnic.

1.7. ALIAJELE FIER-CARBON. DIAGRAMA DE ECHILIBRU

Aliajele fierului cu carbonul se numesc oţeluri atunci cînd conţin pînă la 1,7% C şi fonte în limitele unui conţinut de 1,7—6,67% C. În funcţie de temperatură şi de conţinutul de C, aliajele fier—carbon conţin diferiţi constituenţi structurali formaţi din soluţii solide, compuşi definiţi sau amestecuri mecanice eterogene, care imprimă aliajului anumite proprietăţi.

Datorită modificărilor alotropice ale fierului şi solubilităţii diferite a carbonului în aliajele fier-carbon apar următorii constituenţi:

— *ferita* (α) este o soluţie de C în Fe α cu un conţinut maxim de 0,02% C (721°C) şi se caracterizează prin duritate şi rezistenţe reduse,

Scanned with OKEN Scanner

plasticitate ridicată, proprietățile mecanice ale feritei depind în mare măsură de mărimea grăunților;

— *austenita* (γ) este o soluție solidă de C în Fe γ, solubilitatea carbonului variind cu temperatura între 1,7% C și 1 145°C și 0,85% la 721°C, este caracterizată printr-o plasticitate ridicată;

— *ferita* (δ) este o soluție solidă de C în Fe δ cu maximum 0,07% C la 1 487°C;

— *cementita* este un compus chimic Fe_3C cu un conținut de 6,67% C cu o structură complicată a rețelei cristaline; este foarte dură (800=HV) și fragilă, magnetică la temperatura obișnuită, pierde însă magnetismul de la 215°C; păstrînd compoziția chimică, cementita poate să apară prin cristalizare din topitură (cementita primară), prin precipitare din austenită (cementită secundară) sau prin precipitare din ferită (terțiară);

— *perlita* este un amestec eutectoid format din ferită și cementită ($\alpha+Fe_3C$) rezultat prin descompunerea austenitei; duritatea variază între 180—220 HB;

— *ledeburita* este un amestec eutectic cu 4,3% C care se solidifică la 1 145°C alcătuit din cementită și austenită saturată, iar la temperatura ambiantă în urma transformărilor în stare solidă constă din perlită și cementită prin descompunere eutectoidă a austenitei la 721°C în perlită, denumirea și-o păstrează avînd același aspect structural;

— *carbonul* se găsește într-un aliaj fier-carbon, fie sub forma de combinație chimică cu fierul, fie sub forma de carbon liber sau grafit. În mod corespunzător, relațiile de cristalizare și de transformare din aliaje fier-carbon se reprezintă în două diagrame diferite: prin *sistemul fier-cementită metastabil* sau prin *sistemul fier-grafit stabil.*

Practic aliajele fier-carbon cristalizează după sistemul metastabil fier-cementită.

La răcire foarte lentă, retopiri și resolidificări repetate, la menținerea la temperaturi înalte timp mai îndelungat și în prezența unor elemente care favorizează separarea grafitului, cementita aliajelor bogate în carbon se descompune în componentele sale — în fier și carbon sub formă de grafit.

În diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon (fig. 1.31), diagrama de echilibru metastabil fier-cementită este trasată cu linii continue, iar diagrama de echilibru stabil fier-grafit cu linii întrerupte.

Transformările alotropice se observă și în cazul aliajelor fier-carbon însă la temperaturi diferite în funcție de % C, pe liniile diagramei. Punctele la care au loc transformările se notează cu

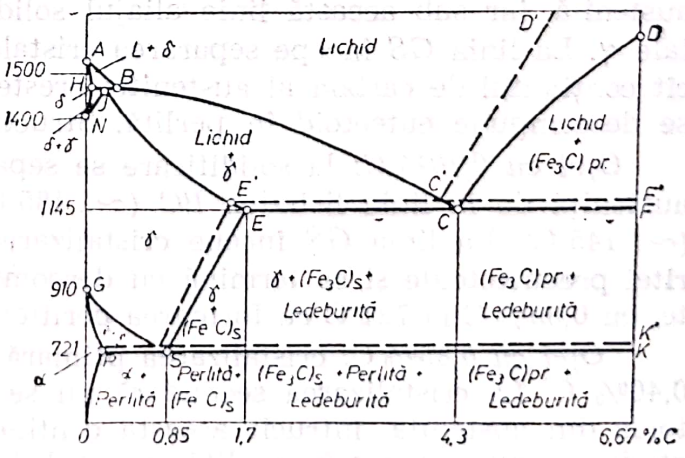


Fig. 1.31. Diagrama de echilibru Fe–C.

Scanned with OKEN Scanner

litera A avînd un indice literal, r la răcire, c la încălzire și un indice numeric care caracterizează forma alotropică:

A_1 — transformarea eutectoidă austenită $\rightleftarrows$ perlită;
A_2 — transformarea magnetică (punctul Curie);
A_3 — transformarea austenită $\rightleftarrows$ ferită;
A_{ccm} — transformarea austenită $\rightleftarrows$ cementită;
A_h — transformarea austenită $\rightleftarrows$ soluție solidă.

Linia *ABCD* a diagramei este *linia lichidus,* iar *AHJECF linia solidus*. În timpul solidificării, la răcire, în aliajele fier-carbon au loc trei reacții de transformare izotermă și anume:

— o reacție peritectică la 1 487°C după linia *HJB;*

— o reacție eutectoidă la 721°C după linia *PSK* de formare a perlitei;

— o reacție eutectică la 1 145°C după linia *ECF* de formare a ledeburitei.

În diferitele zone ale diagramei s-au înscris constituenții prezenți în structura aliajelor.

Pentru o mai bună înțelegere a diagramei, în continuare sînt prezentate fenomenele și structurile caracteristice ce apar la răcirea unor aliaje fier-carbon.

Oțelul cu 0,05% C: la linia lichidus între *A* și *B* se separă cristale primare de soluție solidă δ, iar sub linia solidus *AH* (~1 500°C) aliajul solidificat constă din soluția solidă δ. De la linia *NH* (~1 460°C) soluția solidă δ se transformă în austenită pînă la linia *NJ* (~1 420°C), sub aceasta fiind prezentă austenita. La linia *GS* (~900°C) din austenită se separă ferita, austenita rămasă se îmbogățește în C pînă la 0,85% C la 721°C cînd se descompune eutectoid cu formarea perlitei. Mai înainte de 770°C (punctul Curie) ferita separată trece din stare paramagnetică în stare feromagnetică. La răcire sub 721°C solubilitatea Fe α pentru carbon, scade, iar carbonul separat se depune în formă de cementită la limita grăunților.

Oțel cu 0,25% C: la răcire topitura se separă în cristale de soluție solidă δ primară la linia *AB* (~1 500°C) care se *transformă peritectic* la linia *HJB* (1 487°C) în austenită; în continuare, solidificarea restului de topitură de-a lungul liniei *JE* conduce la separarea cristalelor primare de austenită, iar sub această linie aliajul solidificat constă numai din cristale γ. La linia *GS* începe separarea cristalelor de ferită săracă în C încît conținutul de carbon al austenitei crește pînă la 0,85 C la 721°C cînd se descompune eutectoid în perlită. Structura finală este fero-perlitică.

Oțel cu 0,40% C: la solidificare se separă direct cristale primare de austenită de la linia lichidus *BC* (~1 485°C) pînă la linia solidus *JE* (~1 145°C). La linia *GS* începe cristalizarea secundară cu separarea feritei preeutectoide și se termină cu descompunerea eutectoidă a austenitei cu 0,85% C la 721°C cu formarea perlitei.

Oțel cu 0,85% C: cristalizarea primară decurge la fel ca la oțelul cu 0,40% C. La cristalizarea secundară nu se mai separă ferita preeutectoidă din austenită, întrucît aceasta conține la început 0,85% C și deci se descompune direct în perlită, punctul de transformare A_3 și A_1 coincid. Deoarece cantitatea de ferită este mai mare decît aceea de cemen-

Scanned with OKEN Scanner

tită, ferita constituie masa de bază a eutectoidului în care cementita este inclusă sub formă de lamele (perlită lamelară).

Oțel cu 1,15% (hipereutectoid): din topitură se separă la limita lichidus *BC* cristalele primare de austenită. De la linia solidus *JE* (~1 200°C) pînă la linia *SE* (~875°C) oțelul constă din austenită. La linia *SE*, carbonul în exces se separă în formă de cementită secundară, ca o peliculă la limitele grăunților de austenită. La 721°C austenita nu mai conține decît 0,85% C și se descompune eutectoid în perlită.

Fontă cu 2,5% C (hipoeutectică): la răcire sub linia *BC* (~1 330°C) se separă cristalele de austenită primară, restul topiturii conține 4,3% C și se descompune eutectic în ledeburită. La răcire în continuare din austenită se separă agregate de cementită concrescute parțial, cu masa de bază cementitică a ledeburitei încît nu apar separat în structură. Cristalele de austenită decarburate pînă la 0,85% C se descompun eutectoid la 721°C în perlită.

Fonta de 4,3% C (eutectică): topitura eutectică cu 4,3% C, se solidifică, fără separarea primară, la 1 145°C în ledeburită, care se menține la temperaturile mai joase.

Fontă cu 5,5% C: (hipereutectică): la linia *CD* se separă cristale primare aciculare de cementită, restul topiturii cu conținut descrescînd pînă la 4,3% C la 1 145°C se solidifică în ledeburită. La temperatura obținută structura fontei constă din cristale primare lungi de cementită incluse în eutecticul ledeburită.

Scanned with OKEN Scanner

2

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN TURNARE

Prelucrarea prin turnare constă din introducerea și solidificarea în cavitatea formelor de turnare a unui material metalic topit și supraîncălzit cu 50 ... 100 K.

Forma de turnare (fig. 2.1) este ansamblul constituit din: rama de formare inferioară *1*, cavitatea miezului *2*, semiforma inferioară *3*, miezul *4*, cavitatea formei (piesa) *5*, rama superioară *6*, semiforma superioară *7*, cavitatea maselotei *8*, marca superioară a miezului *9*, răsuflătorile *10*, *11*, suportul metalic *12*, pîlnia de turnare *13*, piciorul de turnare *14*, alimentatorul *15*, armătura miezului *16*.

După natura și procedeul de confecționare al formelor se disting: forme temporare, semipermanente și permanente. Formele temporare servesc la o singură turnare, după care acestea se distrug; formele semipermanente servesc la obținerea mai multor piese identice și suferă reparații parțiale după fiecare turnare, iar formele permanente (cochiliile) servesc pentru obținerea mai multor piese identice fără reparații după fiecare turnare. Formele temporare (obișnuite și speciale) au ca material de bază pentru formă silicea, cele semipermanente cărămida, cele permanente grafitul și materialele metalice.

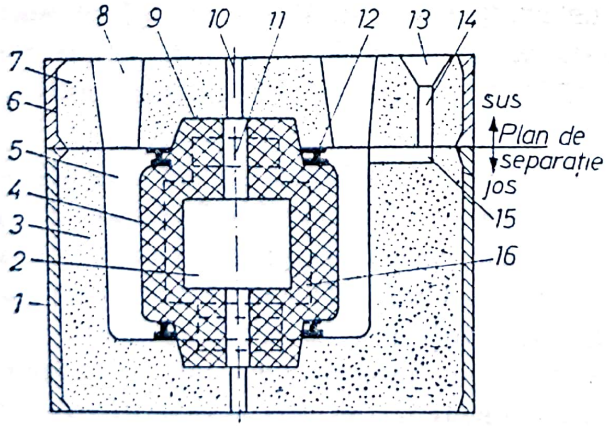


Fig. 2.1. Elementele formei de turnare temporare.

2.1. CONFECȚIONAREA FORMELOR DE TURNARE TEMPORARE OBIȘNUITE

Formele temporare obișnuite au cea mai largă utilizare datorită gradului înalt de universalitate și se compun din amestecuri naturale inițiale ce au ca bază silice (STAS 5609-66), argile (STAS

Scanned with OKEN Scanner

5608-66) și amestec folosit. Nisipul constituie baza, iar argilele servesc ca liant pentru legarea granulelor de nisip. În turnătorii se disting pentru forme: amestecuri unice (turnate la crud), de model (turnare la uscat) și de umplutură. Amestecul de model se așază peste model la grosimi de 30 ... 50 mm; completarea în continuare se face cu amestec de umplutură de la care se cere rezistență mecanică și permeabilitate ridicată. Amestecurile pentru miezuri necesită componente de bună calitate: nisip cuarțos spălat, lianți speciali etc.

2.1.1. PREPARAREA AMESTECURILOR

În cazul turnării la crud amestecul folosit se răcește pînă la 200 K, suferă o separare magnetică (și o sfărîmare dacă forma a fost turnată la uscat), o cernere prin sita cu latura ochiului de 5 ... 8 mm. Nisipul proaspăt se usucă (fig. 2.2) în uscătoare, prin introducerea în pîlnia *1*, toba metalică *2*, care se rotește pe rolele *3* și întîlnește gazele arse *4* din focarul *5*, care ies pe coșul *6*. Nisipul se răcește în silozul *7*. Instalațiile moderne folosesc uscarea în curent de gaze calde (fig. 2.3) de la arzătorul *1*, parțial recirculate *2*. Nisipul *3*, antrenat cu melcul *4*, se introduce în conducta de uscare *5*, și se antrenează de gaze, apoi în separatorul *6*, cade pe jgheabul *7*. Particulele de praf se antrenează mai departe și se depun în ciclonul *8*, de unde se descarcă periodic prin tubul *9*. Parte din gazul rece iese după filtrul *10*, în atmosferă. Productivitatea este de trei ori mai ridicată decît la uscarea în tobe. După uscare urmează cernerea cu sita cu 3 ... 5 mm, iar dacă conține și argilă prin cea cu 8 ... 12 mm, după o măcinare prealabilă. Componenții se amestecă în stare uscată 1 ... 2 minute după care se introduce apă și amestecarea continuă 2 ... 3 minute. După amestecare, amestecul de formare se afînează și după 2 ore poate fi folosit la formare. Amestecurile de model se prepară asemănător dar se amestecă timp de 8 ... 12 minute din cauza conținutului ridicat de materiale proaspete. Întrucît amestecul de umplere se reutilizează împreună cu amestecul de model, nu se mai introduce nisip proaspăt.

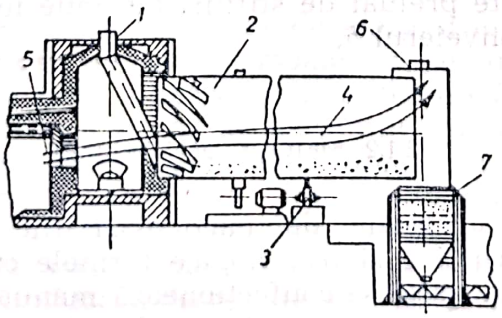


Fig. 2.2. Uscător tip tobă pentru nisipuri și argilă.

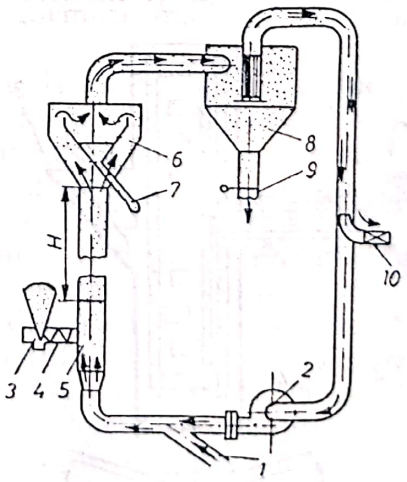


Fig. 2.3. Uscarea în curenți de gaze calde.

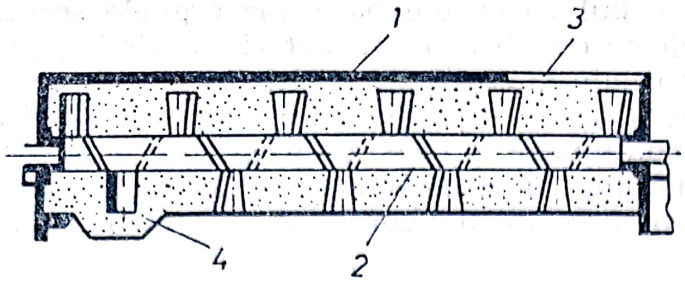


Fig. 2.4. Amestecător cu lopeți.

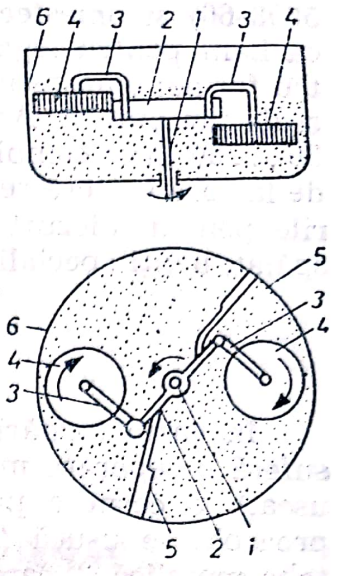


Fig. 2.5. Amestecător pendular.

Dacă amestecurile de miezuri conțin lianți organici, amestecarea durează 10 ... 15 minute și are loc în ordinea: componenții uscați 2 ... 3 minute, adăugarea apei și după 1 ... 2 minute liantul. Păstrarea acestor amestecuri se face în recipiente acoperite și nu se afînează (aerează).

Instalațiile de amestecare trebuie să asigure acoperirea perfectă a granulelor de nisip cu film continuu și uniform de liant. Ca utilaje se folosesc amestecătoarele cu lopeți (fig. 2.4) care conțin vasul *1*, arborele cu lopeți *2* și amestecul se încarcă prin orificiul *3*, cu deplasare spre orificiul *4*. Dacă materialele nu au coeficienți de frecare ridicați se realizează o bună amestecare. Se utilizează pentru amestecurile de umplutură și amestecurile cu lianți ce nu conțin argilă. Celelalte amestecuri se prepară în amestecătoare cu role de tipul Koller. Ele pot avea axul de rotație orizontal sau vertical (fig. 2.5), în care pe arborele *1* se găsește traversa fixă *2*, cu pîrghiile-pendul *3*, la capetele cărora se rotesc rolele *4*. Sub acțiunea forței centrifuge pendulele și rolele sînt împinse spre corpul *6*. Materialele sînt împinse sub role de paletele arcuite *5*, fixate pe arbore.

După această operație amestecul se păstrează 3 ... 4 ore pentru omogenizarea umidității și înainte de utilizare se afînează în aeratoare sau dezintegratoare (fig. 2.6), cu ajutorul știfturilor *1*, montate pe discurile rotitoare *2*. Amestecul se introduce în pîlnia și în corpul dezintegratorului *4*, este preluat de știfturi de unde iese pe conveierul 5.

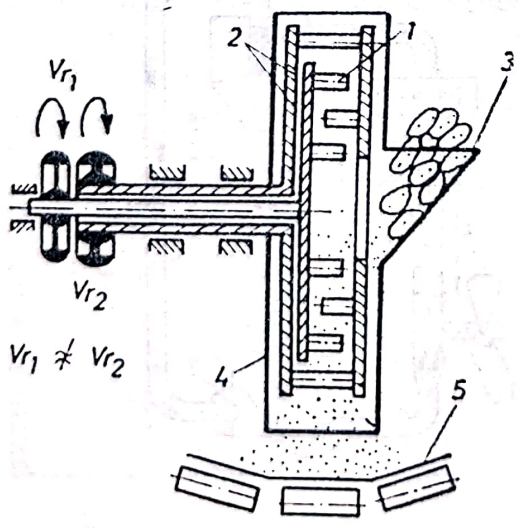


Fig. 2.6. Schema dezintegratorului.

2.1.2. METODE DE FORMARE

Funcție de particularitățile constructive și tehnologice formele cu pereți groși se confecționează manual sau mecanizat și se disting formări în sol, în rame, în miezuri, cu rame demontabile, cu șabloane etc.

Scanned with OKEN Scanner

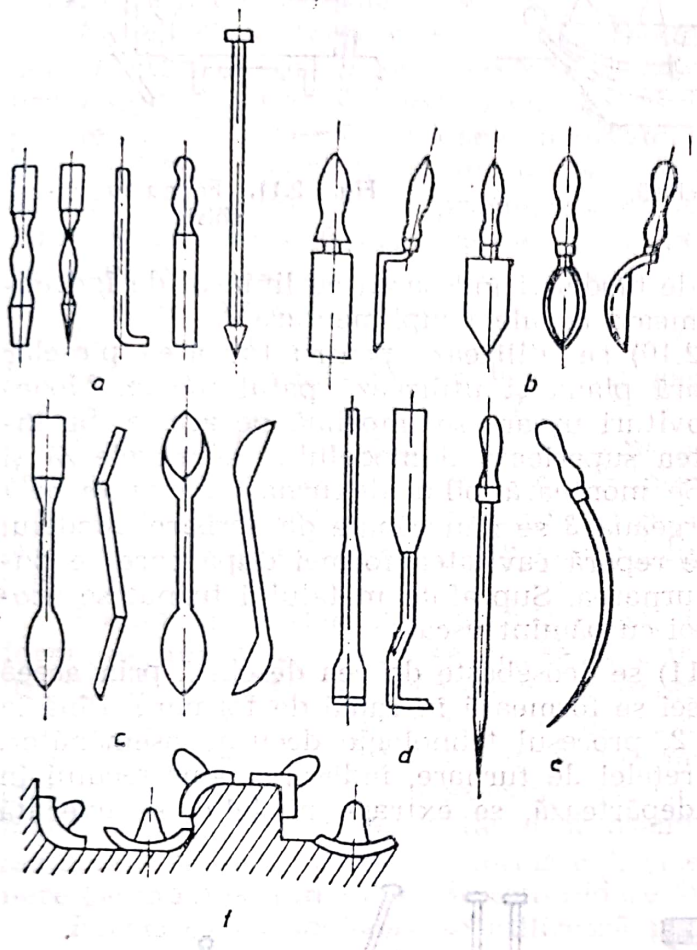


Fig. 2.7. Sculele formatorului.

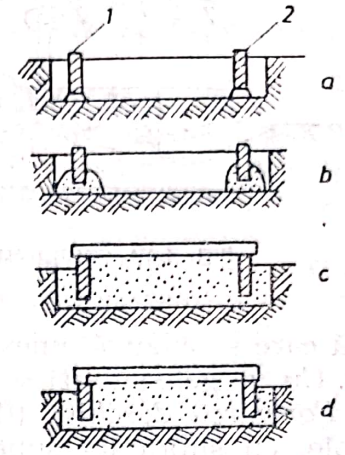


Fig. 2.8. Pat moale.

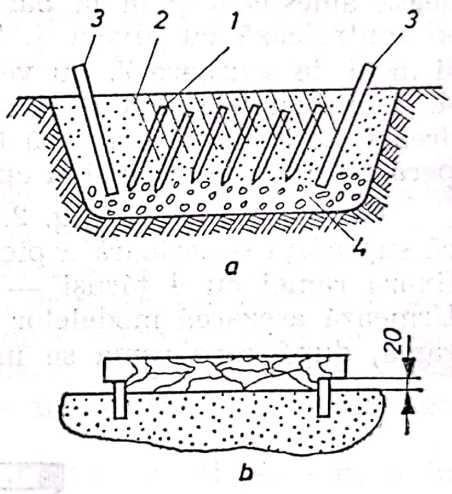


Fig. 2.9. Pat tare.

Formarea manuală, se execută de către muncitori u ajutorul sculelor aferente (fig. 2.7) ca: bătătoare manuale — *a*, sau pneumatice, mistrie — *b*, lanțete și eseuri — *c*, croșete — *d*, vergele — *e* pentru canale de aerisire, netezitoare — *f*. Metodele de formare manuală cele mai răspîndite sînt:

Formarea în sol, care se poate executa deschis și închis și începe totdeauna cu pregătirea „patului" care trebuie să fie orizontal și să posede permeabilitate ridicată. Pentru piese de înălțimi mici se execută un pat moale, iar pentru piese de înălțimi mari, paturi tari.

Execuția patului moale începe cu așezarea a două grinzi *1* și *2* într-o groapă și se fixează cu amestec de formare — *b* (fig. 2.8). În groapă se introduce amestec de umplutură și se nivelează — *c*. Se adaugă amestec de model la grosime de 10 mm, care se îndeasă cu un liniar care servește și pentru îndreptare — *d*. La execuția patului tare (fig. 2.9) pe fundul gropii se așază cărămidă spartă, cocs mărunt *4-a*, și de la acest strat pornesc conductele de aerisire *3*. Stratul se acoperă cu rogojină după care se introduce amestec de formare, care se îndeasă pînă la partea superioară cu 75 . . . 100 mm sub nivelul solului. Se așază orizontal grinzile, iar spațiul dintre ele se completează cu amestec îndesat mai slab, după care se face nivelarea — *b*. Cu acul se formează canale de ventilare *1*,

Scanned with OKEN Scanner

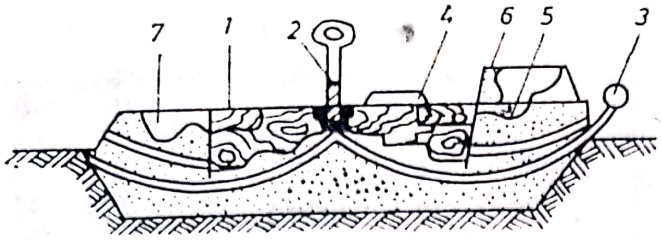


Fig. 2.10. Formarea deschisă.

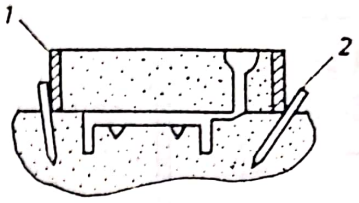


Fig. 2.11. Formarea închisă.

după care se adaugă amestec de model și îndesarea cu liniarul de îndreptare. Cu vergele subțiri se formează canalele suplimentare *2*.

Formarea deschisă (fig. 2.10) se utilizează pentru turnarea pieselor simple, cu suprafața superioară plană și utilizează patul moale. Modelul *1* se așază pe pat și cu lovituri ușoare se imprimă pe acesta. Se îndeasă amestecul pînă la partea superioară a modelului, se nivelează și se controlează cu nivela *4*. Se montează pîlnia de turnare *6*, cu rețeaua *5* și locul de scurgere *7*. Cu vergeaua *3* se dau canale de aerisire. Modelul se scoate cu tija filetată *2*, se repară cavitatea formei după care se pudrează cavitatea și urmează turnarea. Suprafața metalului turnat se acoperă cu strat de mangal și apoi cu pămînt uscat.

Formarea închisă (fig. 2.11) se deosebește de cea deschisă prin aceea că suprafața superioară a piesei se formează în ramă de formare. Pînă la fixara ramei cu 4 țăruși — *2*, procesul tehnologic decurge asemănător. Urmează așezarea modelelor rețelei de turnare, îndesarea amestecului în ramă, după care rama se îndepărtează, se extrage modelul, se execută

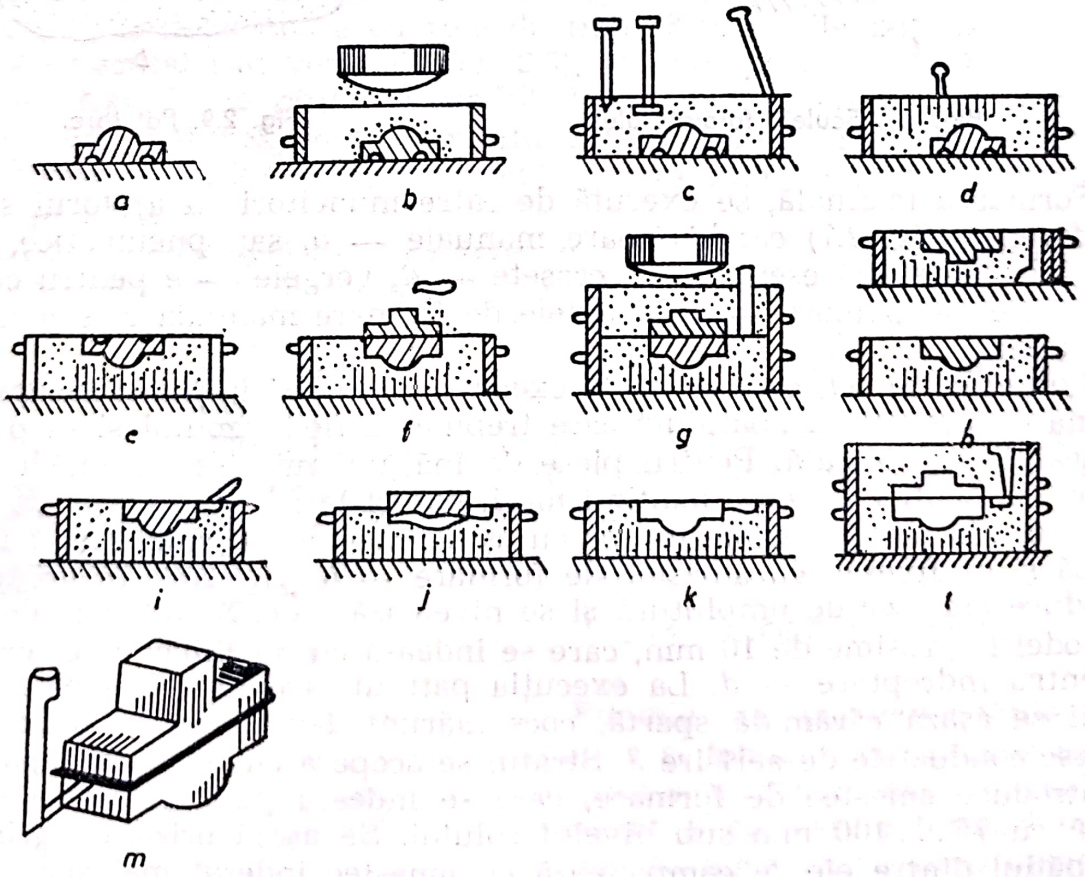


Fig. 2.12. Formarea în două rame cu model separabil.

Scanned with OKEN Scanner

reparațiile și rama se fixează la loc. Dacă se toarnă piese mari, unicate și lipsesc perechi de rame de formare, atunci se execută formarea în sol urmată de o uscare superficială.

Formarea în rame este cea mai răspîndită și are loc de regulă în două rame și numai la piese complicate în mai multe rame. Cea mai utilizată este formarea în două rame cu model separabil (fig. 2.12) și cuprinde fazele: *a* — așezarea semimodelului, cu găuri de ghidare, pe placă; *b* — pudrarea modelului și introducerea amestecului de formare; *c* — îndesarea amestecului; *d* — practicarea canalelor de aerisire; *e* — rotirea ramei inferioare și fixarea pe pat; *f* — fixarea semimodelului cu cepuri de ghidare și pudrarea acestuia; *g* — așezarea rețelei, maselotelor, răsuflătorilor și introducerea amestecului de formare; *h* — separarea ramelor; *i* — tăierea canalelor de alimentare; *j* — extragerea semimodelelor; *k* — extragerea semiformelor după extragerea semimodelelor; *l* — forma asamblată pentru turnare; *m* — piesa.

Formarea în mai mult de două rame are loc analog, iar părțile modelului se așază succesiv. Formarea se începe cu rama mijlocie și continuă cu cea inferioară. La formarea mecanizată se întîmpină greutăți, de aceea se preferă introducerea de miezuri în scopul realizării în două semirame.

Formarea în rame demontabile constă în îndepărtarea ramelor de pe forma asamblată și uneori se montează o manta de consolidare. Procesul (fig. 2.13) constă în așezarea pe rama superioară *1*, a plăcii model *2*, și a ramei inferioare. Se formează rama inferioară *a*, se așază placa de susținere *4* a ramei inferioare, se rotește în plan orizontal cu 180° și se formează rama superioară. Se execută rețeaua de turnare *c*, se scoate placa model *d*, se introduc miezurile și se asamblează forma *e*. De pe forma asamblată se scot ramele de formare *f*, și se transportă la locul de turnare (se montează mantaua de consolidare *5*).

Formarea cu șabloane se utilizează pentru unicate și piese mari în scopul simplificării garniturii de modele. După forma piesei se deosebesc șabloane rotitoare sau de translație.

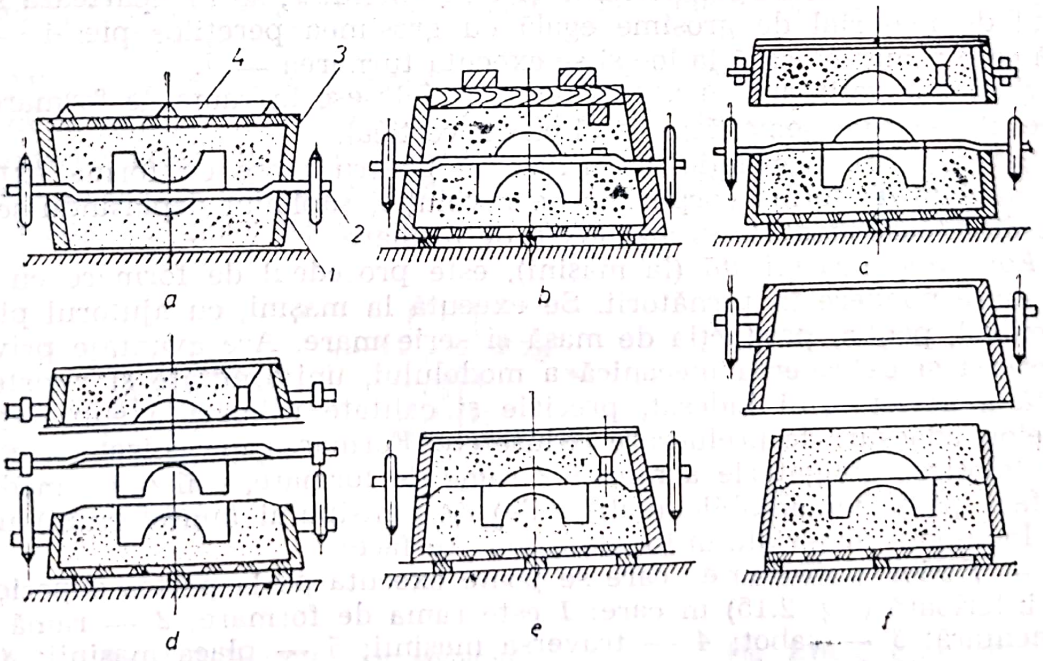


Fig. 2.13. Formarea în rame demontabile.

Scanned with OKEN Scanner

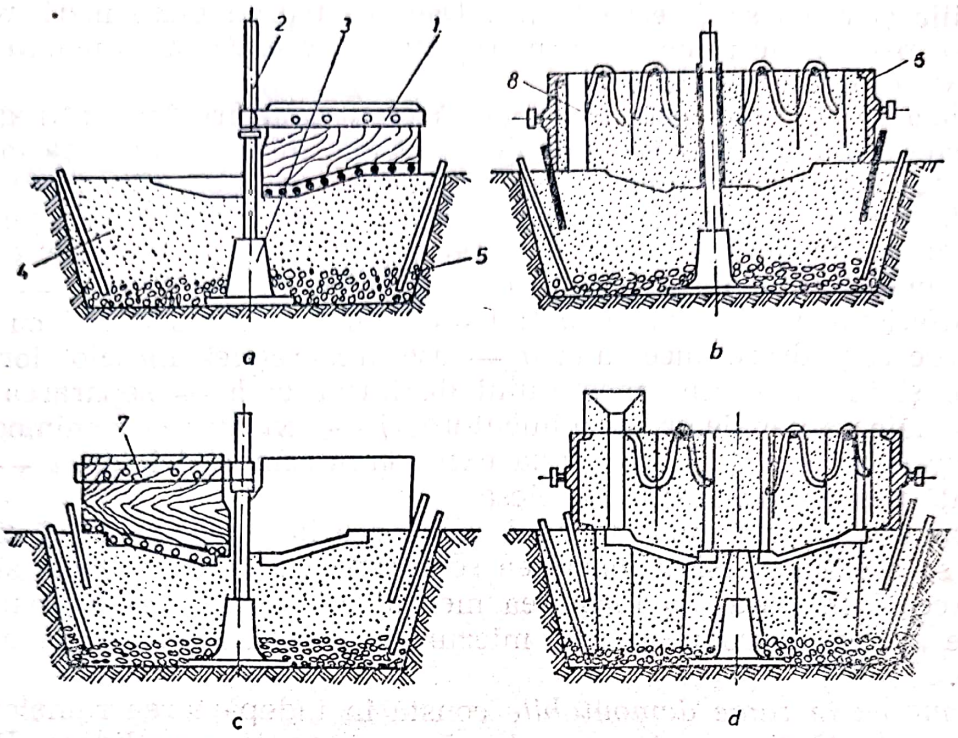


Fig. 2.14. Formarea cu şablon cu axul de rotaţie vertical:
a — formarea suprafeţei superioare; b — formarea în ramă a suprafeţei superioare;
c — formarea suprafeţei inferioare; d — forma asamblată pentru turnare.

Formarea cu şabloane rotitoare cu ax vertical (fig. 2.14) constă în fixarea şablonului *1* pe suportul vertical *2*, fixat în placa metalică *3* din groapa *4* cu amestec de formare *5*, care se îndeasă. Se roteşte şablonul la 360° şi se îndepărtează amestecul în surplus pînă la obţinerea formei şablonului în amestec *a*, şablonul se scoate, suprafaţa obţinută se pudrează cu material de separare şi se confecţionează rama de formare *6*, cu piciorul de turnare *8-b*. Se scoate rama şi cu şablonul *7*, se îndepărtează surplusul de material de grosime egală cu grosimea pereţilor piesei — *c*, după care rama se aşază la loc şi se execută turnarea — *d*.

Şabloane rotitoare cu ax orizontal se folosesc în rame de formare şi procesul decurge asemănător celui cu ax vertical.

Şabloane de translaţie, se utilizează pentru piese cu forma exterioară diferită de forma corpurilor de revoluţie, şablonul deplasîndu-se pe rigle directoare montate în amestecul de formare.

Formarea mecanizată (la maşini), este procedeul de formare cu cea mai mare pondere în turnătorii. Se execută la maşini, cu ajutorul plăcilor-model, pentru producţia de masă şi serie mare. Are avantaje privind îndesarea şi extragerea mecanică a modelului, uniformitate şi rezistenţă înaltă a amestecului îndesat, precizie şi calitate ridicată a suprafeţelor pieselor, adaosuri de prelucrare reduse etc. Formarea mecanizată necesită însă folosirea obligatorie a numai 2 rame de formare, utilizarea modelelor fără părţi demontabile (detaşabile) şi a nisipului (amestecului) unic.

Îndesarea materialului în semiforme se face:

— P r i n p r e s a r e, care se poate executa pe la partea superioară sau inferioară (fig. 2.15) în care: *1* este rama de formare; *2* — ramă suplimentară; *3* — sabot; *4* — traversa maşinii; *5* — placa maşinii; *8* — masa maşinii; *7* — rama maşinii; *6* — model. La presarea semiformelor

Scanned with OKEN Scanner

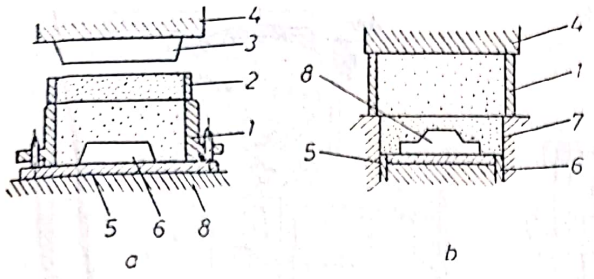


Fig. 2.15. Formarea prin presare:
a — pe sus; b — pe jos.

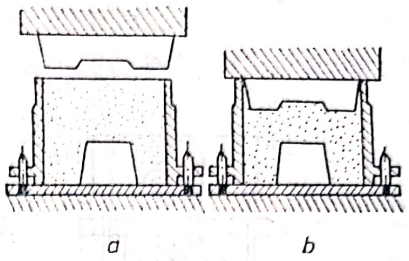


Fig. 2.16. Presarea cu sabot profilat:
a — înainte de presare; b — după presare.

în care se găsesc modele înalte se utilizează profile pentru uniformizarea îndesării lîngă pereții laterali (fig. 2.16).

— Prin scuturare (fig. 2.17), cînd îndesarea amestecului din forma *1* se realizează prin mișcările efectuate de masa mașinii, cu ajutorul pistonului *3* din cilindrul amortizor *4*, montat în cilindrul *5*. Fluidul intră prin conducta *6*, ridică pistonul și, după evacuarea prin orificiile *7*, cade jos și se amortizează prin arcurile elicoidale *8*. La îndesare se efectuează 30...60 lovituri/min. Înălțimea ramelor poate depăși 150 mm. Prin scuturare îndesarea straturilor superioare este mai slabă decît a celor inferioare și de aceea la forme înalte se asociază scuturarea cu presarea ulterioară sau așezarea unor greutăți la partea superioară în timpul scuturării.

— Prin aruncare (fig. 2.18), cînd amestecul de formare se proiectează în semiforma *1* cu ajutorul unui disc rotitor (1 500 rot/min) cu palete, din interiorul carcasei *2*, alimentate cu amestec *3*. Indiferent de înălțimea modelelor, gradul de îndesare al semiformelor este uniform.

La formarea pe mașini modelele *5* se pot extrage: prin ridicarea ramei de formare (fig. 2.19, *a*), la care pe masa mașinii *1* se găsește placa model *2*, și rama de formare *3* se ridică cu tijele *4*; sau prin coborîre (în jos), figura 2.19, *b*.

Miezurile se pot confecționa de asemenea manual sau mecanizat cu utilizarea cutiilor de miez care au negativul golurilor pieselor. La confecționarea miezurilor se utilizează des metoda *prin suflare* (fig. 2.20), la care se obține o productivitate înaltă (200 miezuri/oră) și se utilizează amestecuri cu lianți sintetici, care asigură o bună plasticitate. Pentru

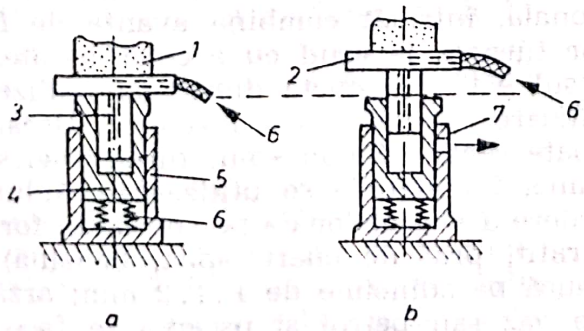


Fig. 2.17. Formarea prin scuturare:
a — poziția inferioară; b — poziția superioară.

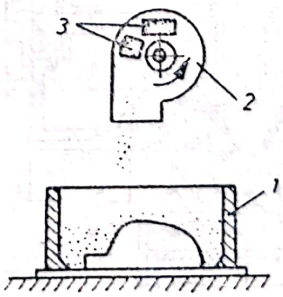


Fig. 2.18. Cap aruncător de amestec.

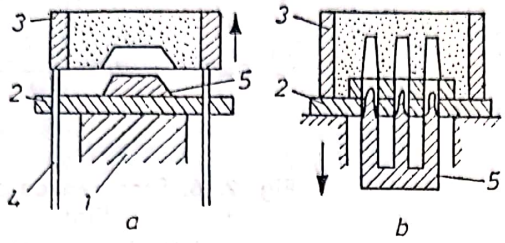


Fig. 2.19. Extragerea modelelor.

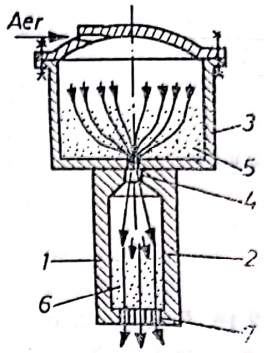


Fig. 2.20. Miezuire prin suflare.

miezuire se folosesc semicutii *1* și *2* de orice formă și complexitate. În rezervorul *3* se introduce aer sub presiune și prin orificiul *4* se suflă amestecul *5* care se îndeasă în cutia *6* (aerul iese prin orificiile *7*); *prin împușcare* (fig. 2.21), procedeu bazat pe principiul dozării exacte a amestecului cu ajutorul pistonului *1*. Aerul sub presiune intră în spațiul *2* și prin clapeta *3* în rezervorul *4*, de unde prin expansiune acționează asupra amestecului obligîndu-l să iasă prin duza *5* și să intre în cutia de miez *6*. După închiderea clapetei *2*, îndesarea are loc prin destinderea aerului comprimat. Pentru amestecuri mai puțin plastice se prevăd orificiile suplimentare *7*. Mașinile de împușcat sînt mai productive decît cele de suflat, se pot utiliza cutii de miez din lemn, de orice complexitate, iar uzura acestora este mai redusă.

Uscarea formelor și miezurilor este necesară la piese cu masa peste 5 000 kg sau piese de importanță mare chiar la masă sub 100 kg. Formele au grosimi de pereți 50 . . . 250 mm, necesită miezuri grele, complicate. Formele uscate permit acoperirea suprafețelor cavității formelor cu vopsele de turnătorie, obținînd pe această cale o calitate superioară a pieselor turnate și puține incluziuni nemetalice provenite din erodarea formelor la turnare. Uscarea poate fi profundă sau superficială. Uscarea profundă se face în cuptoare (fig. 2.22), timp de 6 . . . 48 ore funcție de mărimea formelor *2* și miezurilor, așezate pe căruciorul *3*. Temperatura de uscare este 500 . . . 700 K și este creată de gazele arse *4*, obținute prin arderea cărburilor inferiori în focarul *5*, care ies spre coșul *6*.

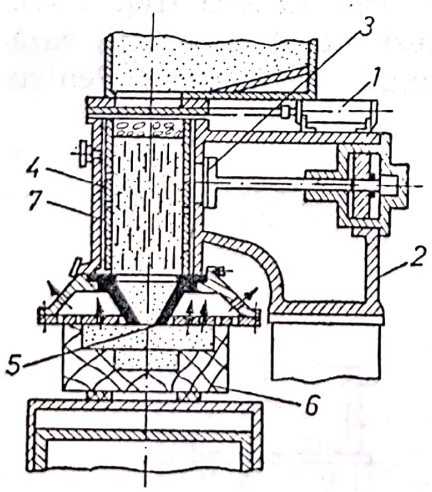


Fig. 2.21. Miezuire prin împușcare.

Uscarea superficială este mult mai rațională, întrucît combină avantajele formelor turnate la crud cu a celor uscate. Procesul este de scurtă durată și realizează o întărire superficială a formelor. Uscarea se poate realiza fie în solul turnătoriei sau în rame. Ca metode se utilizează: căldura de ardere a vopselelor de pe suprafața formelor (grafit, praf de cuarț, spirt, benzină) care usucă pe adîncime de 1 . . . 2 mm; arzătoare de gaz sau petrol și uscarea se face pe o adîncime de 1 . . . 3 mm în timp de 2 . . . 3 min. La piese cu masa pînă la 8 000 kg se

Scanned with OKEN Scanner

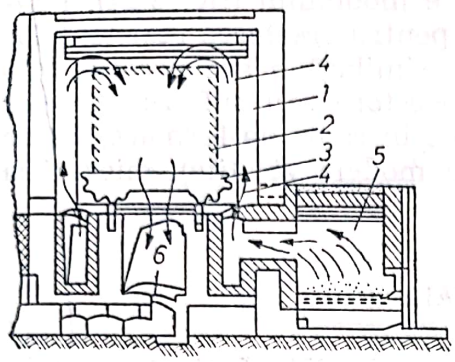


Fig. 2.22. Uscător tip cameră.

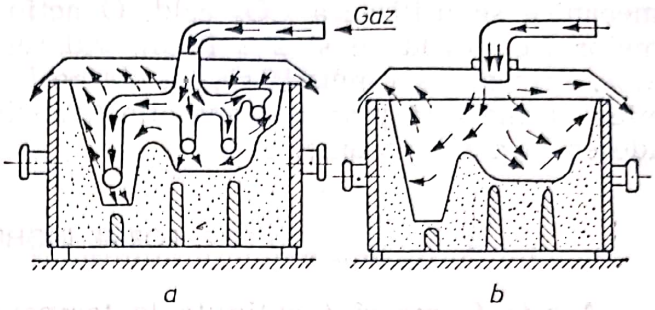


Fig. 2.23. Uscare superficială:
a — cu conducte speciale; b — sub hotă.

folosesc: instalații de uscare cu gaz (fig. 2.23), iar amestecurile de formare conțin lianți cu întărire rapidă; raze infraroșii care au avantajul că nu impurifică atmosfera, nu necesită aer comprimat și se poate monta uscătorul pe conveiere; uscătoare electrice care se prevăd cu circulație verticală a gazelor și chiar ventilator de recirculare a acestora.

2.2. CONFECȚIONAREA FORMELOR TEMPORARE DIN AMESTECURI DE FORMARE SPECIALE

Aceasta se face în scopul reducerii timpului de formare, îmbunătățirii proprietăților formelor și pieselor și a creșterii preciziei dimensionale.

2.2.1. FORME ÎNTĂRITE CHIMIC CU CO_2

Aceste forme se utilizează la turnarea tuturor aliajelor industriale cu masa pînă la 170 t. Procesul de confecționare a formelor constă în amestecarea nisipurilor cuarțoase cu silicat de sodiu ($Na_2O/a\,SiO_2$ cu modul $M=SiO_2/Na_2O=2{,}3\ldots2{,}8$ și $\rho=1{,}47\ldots1{,}52$ g/cm³) în cantitate de 3,2 ... 7%, suflarea unui curent de CO_2 (după îndesarea amestecului) și are loc o întărire rapidă: $Na_2O\cdot a\,SiO_2+CO_2+b\,H_2O=Na_2CO_3\cdot c\,H_2O+2(SiO_2\cdot d\,H_2O)$ în care a, b, c și d sînt coeficienții stochiometrici.

Pelicula gelului acidului silicic înconjoară granulele de nisip și asigură rezistență la tracțiune a amestecurilor pînă la 15 daN/cm². Presiunea de lucru a CO_2 este de 1 ... 2 atm. (Dacă se utilizează module mici, se pot obține rezistențe pînă la 25 daN/cm².) Funcție de compoziția amestecului și mărimea formei, timpul de suflare variază între 0,5 ... 5 min. De regulă, suflarea se face fără extragerea modelului *1* prin acoperire cu un capac *2*, în scopul ob-

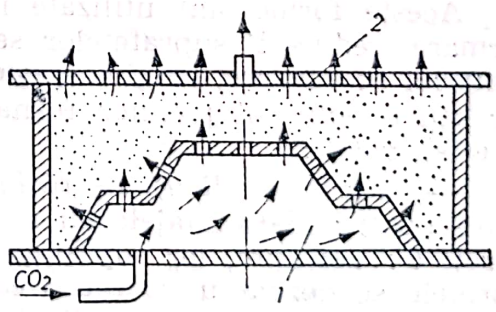


Fig. 2.24. Forme suflate cu CO_2.

ținerii unei cavități a formei corespunzătoare modelului (fig. 2.24). Pentru accelerarea procesului de întărire, cît și pentru creșterea rezistențelor mecanice se utilizează CO_2 cald. O acțiune similară o are uscarea formelor (se introduce și 2% FeSi), vidarea acestora sau suflarea gazelor arse. Prin această metodă se pot obține forme în rame de formare, forme miez, forme fără plan de separație (utilizînd modele volatile), miezuri și adesea forme fără rame.

2.2.2. FORME ÎNGHEȚATE

Aceste forme sînt obținute la temperatura de 253 K și ating rezistențe mecanice 14 daN/cm². Piesele turnate sînt lipsite de defecte, au structura mai fină, dar necesită turnarea imediat după confecționarea formelor. Înghețarea se realizează cu sau fără model extras.

2.2.3. FORME ÎNTĂRITE CU CIMENT

Aceste forme sînt utilizate pentru piese grele, prin amestecarea nisipului cu ciment Portland 7...10% și 8% apă. Reacția decurge: $a\,CaO \cdot SiO_2 + b\,H_2O \longrightarrow c\,CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O + d\,Ca(OH)_2$. Temperatura optimă de întărire este 290 K. Se poate utiliza formarea prin toate procedeele cunoscute. Necesită timp lung de întărire, 40...70 ore. Dacă se suflă aer cald, gaze arse, CO_2 sau se introduce 2% CaCl se accelerează procesul de întărire.

2.2.4. FORME DE GIPS

Aceste forme conțin 80% gips, 20% azbest și se introduce 50% apă. Atinge rezistențe de 4,5 daN/cm² și se utilizează la turnarea pieselor complicate, de mare precizie, în special la turnarea neferoaselor, care nu pot fi turnate prin alte procedee sau nu se supun prelucrării mecanice. După întărirea gipsului în 30...40 min. se extrag modelele, iar formele se încălzesc la 500...690 K timp de 25...40 ore. Analog formării, masa de gips poate servi confecționării modelelor din gisp.

2.2.5. FORME COJI

Aceste forme sînt utilizate în scopul economisirii amestecurilor de formare, reducerii suprafețelor secțiilor de formare și a consumului de material de turnare, cît și a creșterii posibilităților automatizării proceselor sau a obținerii pieselor turnate de complexitate și precizie ridicată. Acestea pot fi:

— *Întărite cu lianți de rășini,* utilizate în producția de masă și serie mare pentru toate aliajele cu masa 0,2...235 kg. Cojile au grosimi de pereți 6...15 mm, iar suprafața pieselor turnate este curată și netedă. Formele se dezbat ușor. Întărirea se realizează cu rășini termoreactive, care leagă granulele cu o peliculă rezistentă după încălzire. Procesul tehnologic (fig. 2.25) constă din încălzirea plăcii model *1* în cuptorul *2* pînă

Scanned with OKEN Scanner

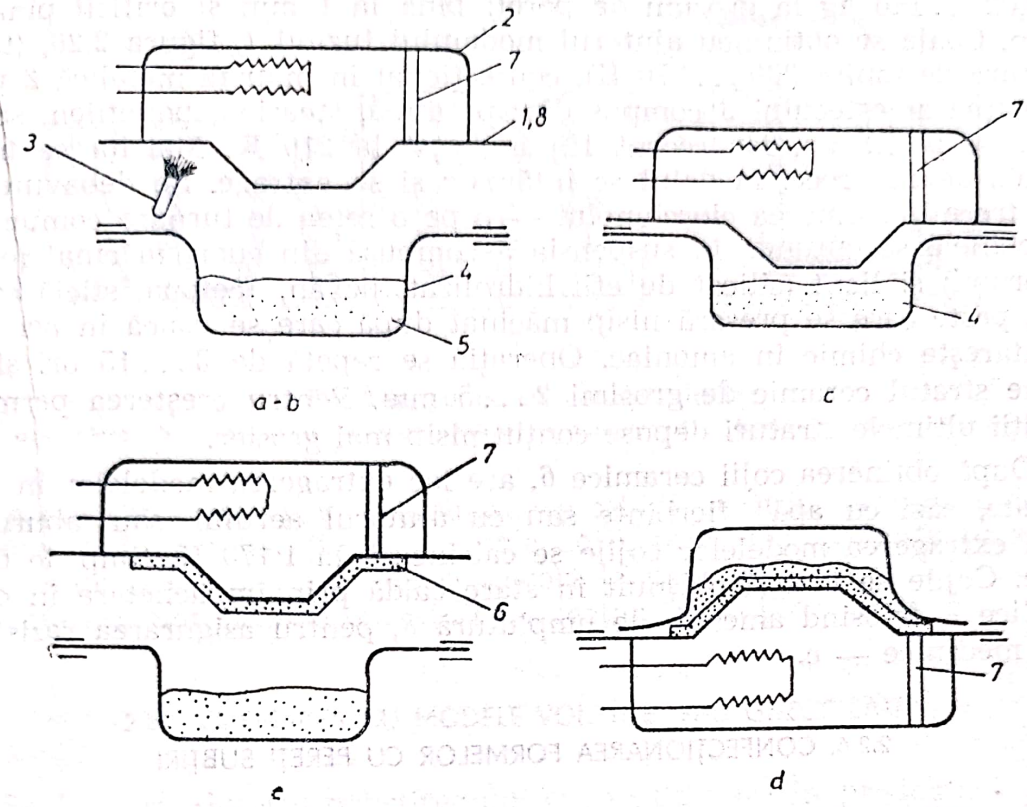


Fig. 2.25. Forme coji cu liant de bachelită.

la 500 K, pulverizarea amestecului de separație *3* și fixarea pe un buncăr rotitor *4*, în care se găsește amestecul *5*. Buncărul se rotește și amestecul cade pe placă unde se întărește 15...20 s. Buncărul revine în poziție inițială, se extrage placa și semiforma coajă *6*, se rotește placa și coaja la 180°. Coaja se calcinează la 670 K timp de 1...2 minute. Cu împingătoarele *7*, prin presare pe placa *8*, are loc extragerea cojii. Pentru a reduce friabilitatea amestecului se introduce 2% făină de lemn. Productivitatea instalațiilor este pînă la 100 coji/oră.

— *Coji ceramice* (forme neseparabile) obținute cu modele fuzibile numită și turnare de precizie. Piesele turnate obțin precizii dimensionale foarte ridicate la grade de complexitate mari, pereți subțiri și o calitate superioară a suprafețelor. În coji ceramice se toarnă aliaje greu de prelucrat prin așchiere clasică sau care necesită o prelucrare complicată, cum sînt sculele așchietoare. Se aplică în producție de masă și serie mare pentru piesele

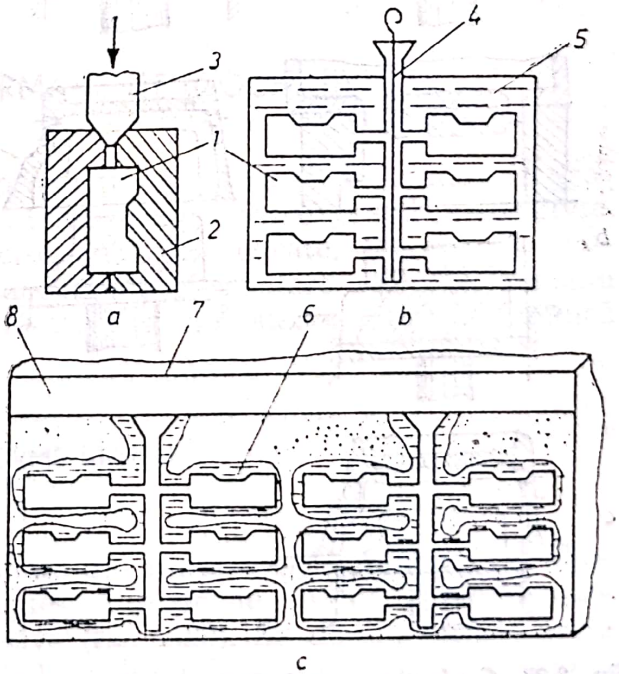


Fig. 2.26. Tehnologia formelor ceramice.

Scanned with OKEN Scanner

de 0,02 ... 140 kg la grosimi de pereți pînă la 1 mm și orificii pînă la 2 mm. Coaja se obține cu ajutorul modelului fuzibil *1*, figura 2.26, (temperatura de topire 330 ... 370 K), confecționat în matrița metalică *2* prin injectarea amestecului *3* compus din: parafină, stearină, polietilen, sacîz, cerezină, polistiren, iar recent Hg înghețat la 210 K. Matrița se trece în baia de apă rece, modelul se întărește și se extrage. Se debavurează și se trece la formarea ciorchinelui — *b* pe o rețea de turnare comună *4*. Ciorchinele se cufundă în suspensia *5* compusă din cuarț măcinat (electrocorund) și liant (silicat de etil hidrolizat, pexan, acetonă, sticlă solubilă), peste care se presară nisip măcinat după care se usucă în aer sau se întărește chimic în amoniac. Operația se repetă de 3 ... 15 ori și se obține stratul ceramic de grosimi 2 ... 5 mm. Pentru creșterea permeabilității ultimele straturi depuse conțin nisip mai grosier.

După obținerea cojii ceramice *6*, are loc extragerea modelelor în termostate, căzi cu apă fierbinte sau cu ajutorul aerului sau aburului. După extragerea modelelor cojile se calcinează la 1 170 K, timp de 6 ... 8 ore. Cojile se toarnă obișnuit în stare caldă prin împachetare în cutii metalice 7, folosind amestec de umplutură *8*, pentru asigurarea rezistențelor mecanice — *c*.

2.2.6. CONFECȚIONAREA FORMELOR CU PEREȚI SUBȚIRI

Se utilizează în scopul economisirii amestecului de formare (fig. 2.27). Formele pot regla viteza de răcire a piesei turnate și crește precizia acesteia datorită deformațiilor mici a pereților piesei în timpul turnării. Confecționarea se face la presiunea de 20 daN/cm², în ramele speciale *1* și se pot turna la crud. Procesul tehnologic constă în formarea suprafeței formei prin suflare — *a*, după care se extrage — *b* și se îndeasă prin presare — *c* și *d*, rezultînd forma de turnare — *e*. Formele se pot și întări chimic rezultînd pereți de numai 40 mm la piese de gabarit mare. Uneori, formele cojii cu liant de masă plastică se confecționează prin acest procedeu pentru a evita apariția segregației și retasurilor de contracție la piesele cu pereți groși. Grosimea pereților formei *2*, are valori de 5 ... 6 mm și se depune pe rama metalică *1* din Al pentru a grăbi procesul de răcire. Viteza de ră-

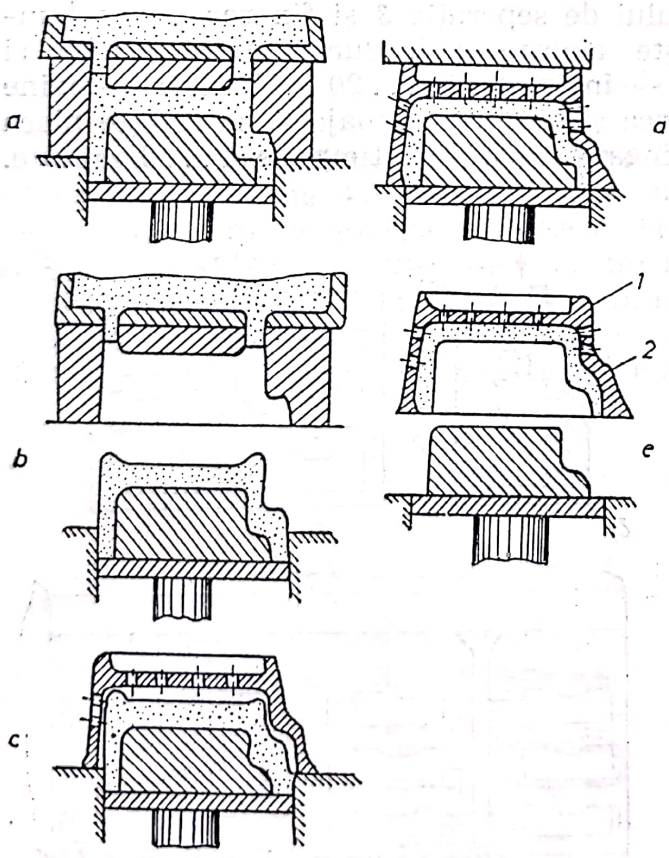


Fig. 2.27. Confecționarea formelor crude cu pereți subțiri prin suflare–presare.

Scanned with OKEN Scanner

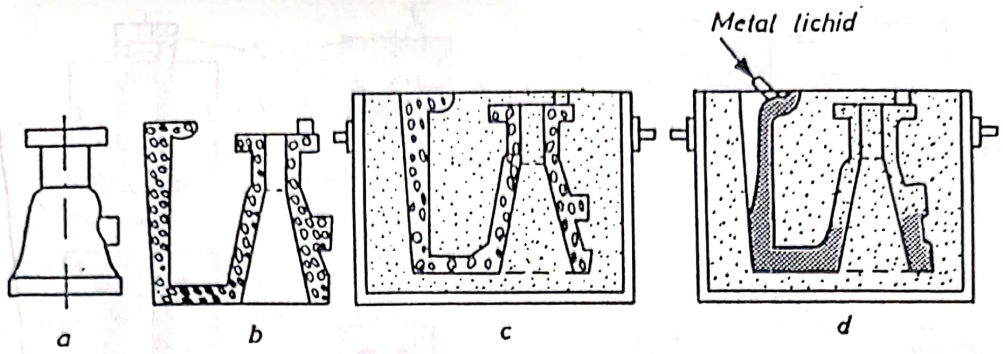


Fig. 2.28. Forma cu modele volatile:
a — piesa; b — model; c — forma înainte de turnare; d — forma în timpul turnării.

cire poate varia ușor prin combinarea grosimii pereților amestecului sau a ramelor. În comparație cu formele cojii, procedeul permite turnarea pieselor de masă mai ridicată și uneori la presiuni de 1 ... 5 daN/cm². Prezența ramelor elimină operațiile confecționării cojilor.

2.2.7. FORMAREA CU MODELE VOLATILE SAU GAZEIFICATE

Se face cu ajutorul polistirenului și se utilizează în producția de serie mică și individuală. Granulele de polistiren se așază în cochile, încălzite la 370 K unde se transformă în spumă și formează modelul cav, lipsit de înclinații, ceea ce duce la turnarea pieselor cu precizie ridicată. Formele se confecționează prin metodele obișnuite, în care metalul lichid se toarnă fără extragerea modelului (fig. 2.28). Piesa ia naștere prin umplerea cavității cu metal topit și a arderii modelului. Procesul de formare este relativ ușor, se reduce numărul de miezuri și al ramelor de formare.

2.3. FORMELE PERMANENTE (COCHILII)

Aceste forme se utilizează în producția de masă și serie mare la grosimi ale pereților pieselor de 3 ... 1 000 mm și mase practic nelimitate. Piesele turnate au dimensiuni precise, suprafețe curate, adaosuri de prelucrare minime, proprietăți mecanice și de exploatare ridicate, consum mic de material de formare, productivitate ridicată, condiții de muncă ușurate etc.

2.3.1. FORME STATICE

Formele statice pot fi:

— *Cochilii metalice,* confecționate din fontă, oțel sau aluminiu și uneori din grafit. Cochiliile se construiesc funcție de aliajul și piesele turnate și au diferite forme constructive (fig. 2.29). Se disting următoarele elemente: miezul *1* (poate fi metalic), cochilia *2*, axa de rotație *3*, semicochilia *4*.

Scanned with OKEN Scanner

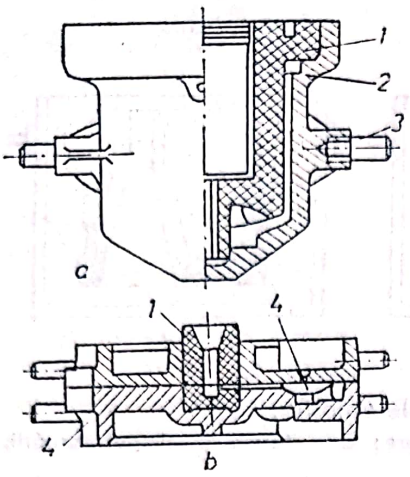


Fig. 2.29. Tipuri de bază a cochiliilor metalice:
a — fără plan de separație; **b** — cu plan de separație.

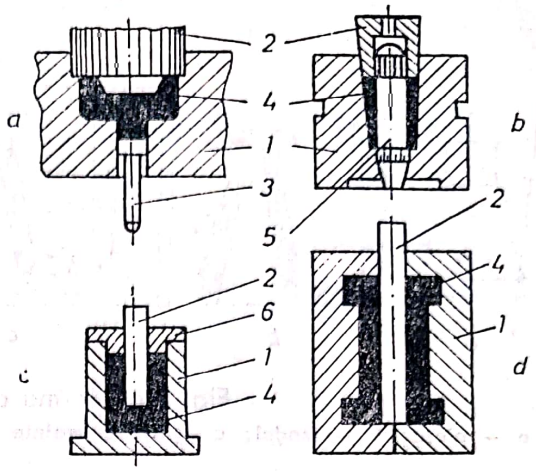


Fig. 2.30. Cochilie pentru matrițarea materialului lichid:
a — fără plan de separație; **b** — fără plan de separație cu miez; **c** — cu plan de separație orizontal; **d** — cu plan de separație vertical.

În cochiliile metalice se toarnă pînă la 5 000 buc. piese de fontă, funcție de masa acestora, iar pentru oțel de 10 ori mai puțin. Aliajele cu bază de aluminiu, magneziu și zinc se pot turna pînă la sute de mii de bucăți. Pentru extragerea ușoară a pieselor turnate cochiliile au: raze de rotunjire 1 ... 3 mm, înclinația pereților verticali 0,5 ... 1,75%, înclinația miezurilor metalice 1,5 ... 3% (la turnarea fontelor chiar 10%), grosimea pereților (de 1 ... 3) δ, în care δ este grosimea peretelui piesei turnate.

Pentru preîntîmpinarea exploziilor și șocului termic, cochiliile înainte de turnare se încălzesc la 400 ... 700 K, iar pentru mărirea durabilității în serviciu se protejează, prin acoperire cu vopsele pe bază de argilă, marșalită, magnezită, sticlă solubilă și apă, (la turnarea fontelor), sau grafit, ulei de in fiert, parafină, caolinuri, ZnO (aliaje de Cu) și ZnO, cretă, sticlă solubilă, talc și apă (restul aliajelor). Protecția se face cu depuneri de straturi de grosimi 0,2 ... 2 mm, iar cochiliile din Al se eloxează. Uneori, cochiliile se răcesc forțat cu apă sau aer. Turnarea în cochilii se poate ușor mecaniza și automatiza. Dacă la turnarea în cochilii se utilizează miezuri din amestecuri de formare temporare, atunci crește considerabil nomenclatura pieselor ce se pot obține în cochilii și în acest caz se pot forma proeminențe și obține pereți foarte subțiri.

— *Cochilii pentru matrițarea metalului lichid*, în care se pot obține piese cu pereți de grosimi peste 2 mm și masă pînă la 500 kg, chiar din fontă sau bronzuri cu Sn. Materialul se varsă în cochilii și apoi se presează. Materialul este obligat să urce datorită presării și să cristalizeze rapid. Pentru matrițare se folosesc mai multe tipuri de cochilii (fig. 2.30) în care: *1* este matrița; *2* — poanson; *3* — aruncător; *4* — piesă; *5* — miez; *6* — inel de închidere. Viteza de presare este 0,2 ... 0,4 m/s, în cazul pieselor mici; 0,1 m/s pentru piese mari și la presiuni de 3 000 daN/cm^2. Proprietățile mecanice ale pieselor obținute prin matrițare în stare lichidă sînt comparabile cu cele de la forjare sau chiar laminare. În plus aceste piese posedă proprietăți izotrope și se obțin la costuri mai scăzute decît în cazul forjării.

— *Cochilii pentru turnarea sub presiune*, în care se obțin piese apropiate ca formă de cea a piesei finite. Metalul lichid se introduce în for-

Scanned with OKEN Scanner

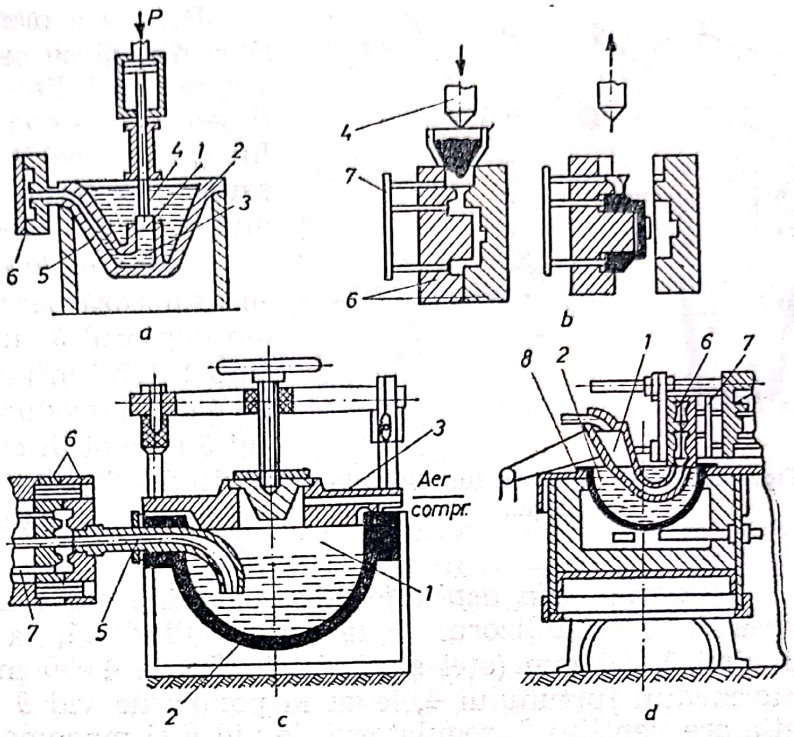


Fig. 2.31. Mașini de turnat sub presiune cu piston: a — cu cameră de presare caldă; b — cu cameră de presare rece, verticală sau orizontală și cu compresor; c — cu cameră închisă; d — cu cameră deschisă.

mă, se presează cu 70 daN/mm² la viteze de 60 m/s. Datorită acestui lucru se pot obține piese complicate, cu pereți sub 1 mm, orificii de 1 mm sau chiar filete turnate. Se pot turna piese peste 50 kg în cazul aliajelor de Al și Mg, peste 90 kg în cazul celor din Zn. Piesele obțin structuri dense și foarte fine.

La turnarea sub presiune se utilizează diferite tipuri de mașini (fig. 2.31), la care distingem: *1* — cameră de presare; *2* — creuzet; *3* — orificii intrare metal; *4* — piston; *5* — rețea de turnare; *6* — formă metalică; *7* — aruncător; *8* — pîrghia gîtului de lebădă.

Cochiliile se confecționează din materiale rezistente la șocuri termice; oțeluri cu W, Cr, Co, elemente care asigură o mare durabilitate. Durabilitatea se poate mări prin nitrurare, carbonitrurare, cromizare, fosfatare, acoperire cu materiale izolante, răcire cu apă. În ultimul timp, se toarnă și oțel sub presiune.

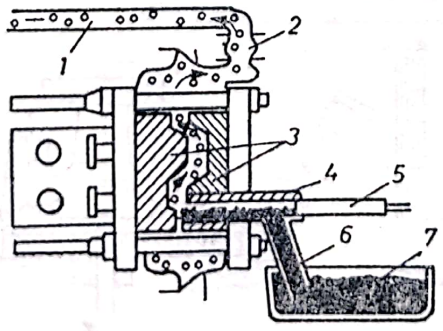


Fig. 2.32. Absorbția automată a aliajului în camera de presare.

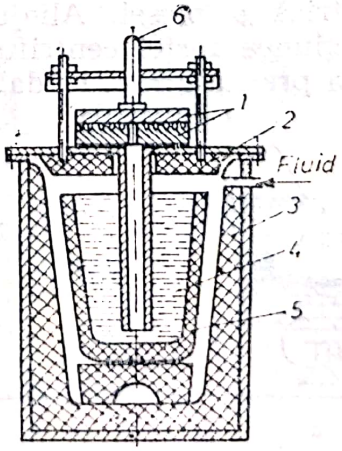


Fig. 2.33. Instalație pentru turnare la presiune joasă.

Scanned with OKEN Scanner

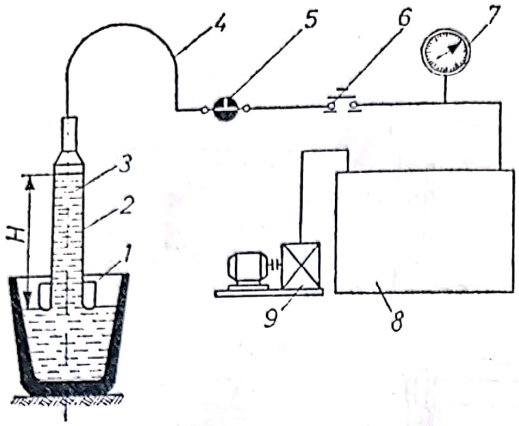


Fig. 2.34. Instalație de turnare prin aspirație.

Pentru a preîntîmpina apariția porilor din piese se execută: turnarea cu vidarea cochiliei (fig. 2.32), la care distingem: *1* — conducta de vid cu ventilul *2*; *3* — cochilia; *4* — camera de presare cu pistonul *5*; *6* — conducta de alimentare cu metal de la cuptorul *7*.

Turnarea la presiune joasă (fig. 2.33) se utilizează pentru aliajele de Al, cînd din cuptorul *3* sub presiunea unui fluid (sub 1 daN/cm²) aliajul se ridică în conducta *4*, introdusă în topitura cuptorului *5* și apoi în cochilia *1*, fixată cu dispozitivul *6* pe capacul *2*. Turnarea se execută fără rețele de turnare și masele.

Turnarea prin aspirație (fig. 2.34) în care din cuptorul *1* se obține piesa *3* în cristalizorul *2* de formă cilindrică, la diametre 100 mm și lungimi 1 400 mm (oțel și aliaje de Cu) și 4 000 mm (aliaje de Al), prin intermediul furtunului *4*, legat la pompa de vid *9* și rezervorul *8*. Instalația are ventilul *5*, regulatorul de vid *6* și manometrul *7*.

Cochilia (cristalizorul) are pereți dubli, pentru răcirea cu apă. În cazul obținerii pieselor cave, materialul nesolidificat se varsă sau se introduc miezuri obișnuite. Vidul are valori corespunzătoare aliajului și înălțimii pieselor turnate *H* și are valori de 1 . . . 4 daN/mm². Piesele se extrag prin rotirea cochiliei, în afara creuzetului, și după răcire, cad singure datorită conicității cochiliei. Productivitatea atinge 70 bucăți pe oră. Pentru reglarea schimbului de căldură, cît și pentru protecție, suprafețele active se vopsesc cu paste de turnătorie.

2.3.2. FORME PERMANENTE ÎN MIȘCARE

Formele permanente în mișcare pot fi:

— *de rotație* (turnarea centrifugală) utilizate la turnarea pieselor care au forma corpurilor de revoluție; axa de rotație coincide cu axa geometrică a piesei. Aliajul turnat se proiectează pe pereții cochiliei sub acțiunea forței centrifuge și cristalizează repede. Cochiliile sînt supuse la presiuni 5 . . . 10 daN/cm², la o viteză unghiulară de 6 . . . 8 rad/s.

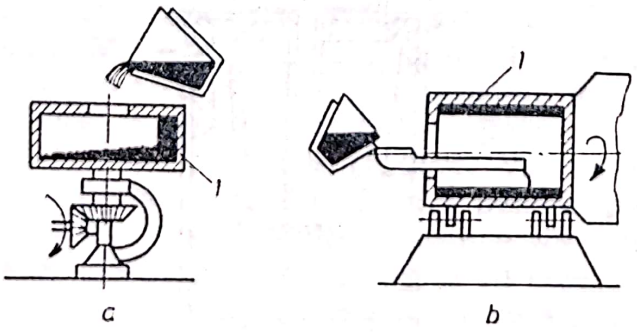


Fig. 2.35. Mașini de turnat centrifugal.

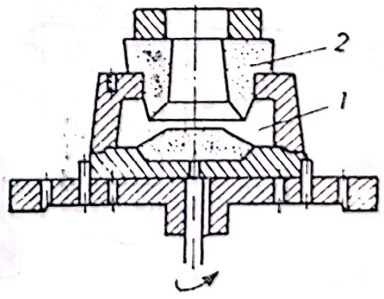


Fig. 2.36. Turnarea semicentrifugală.

Scanned with OKEN Scanner

Golul pieselor se obține fără miezuri, iar materialul turnat este foarte dens, lipsit de impurități. Piesele au suprafețele exterioare curate, dimensiuni precise și nu necesită rețea de turnare. Formele se execută din fontă sau oțeluri și au grosimea pereților 1,5 ... 2 din grosimea pieselor turnate. Cochiliile se vopsesc și uneori se răcesc forțat în vederea creșterii durabilității și productivității. Se pot executa pînă la 3 500 turnări de aliaje feroase.

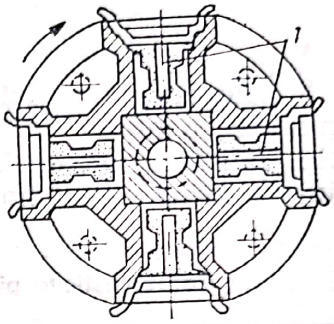


Fig. 2.37. Turnarea prin centrifugare.

Funcție de planul în care se rotește axa cochiliei *1* (fig. 2.35) se deosebesc: mașini cu *axa de rotație verticală* — *a*, utilizate pentru piese de diametre mari și înălțimi reduse și mașini cu *axa de rotație orizontală* — *b*.

Prin turnarea centrifugală se pot obține piese cu masa pînă la 45 t. În cazul utilizării miezurilor interioare *2* (sau exterioare) se pot obține și piese profilate. Turnarea poartă numele de semicentrifugă (fig. 2.36) dacă axa de rotație coincide cu axa geometrică a piesei, iar contururile interioare sînt formate de miezuri; turnarea se mai poate realiza prin *centrifugarea* formelor *1* (fig. 2.37) cînd axa de rotație se găsește în exteriorul pieselor. Turnarea aliajelor sensibile la formarea peliculelor de oxizi se face în instalații vidate.

— *de translație* (fig. 2.38, *a*) care constă în deplasarea semicochiliei *2* spre cea fixă *1* după introducerea materialului lichid *3*. Turnarea se mai numește prin strîngere și se poate executa și cu mișcare unghiulară — *b*. Surplusul materialului — *T* se scurge în recipientul *4*. Prin această metodă se toarnă plăci și panere din aliaje de aluminiu și Mg cu grosimi pînă la 3 mm și dimensiuni 800×800. Piesele turnate pot fi prevăzute cu nervuri și se utilizează în industria de avioane și automobilistică. Dacă se utilizează miezuri din amestecuri obișnuite se pot turna plăci cu pereți dubli.

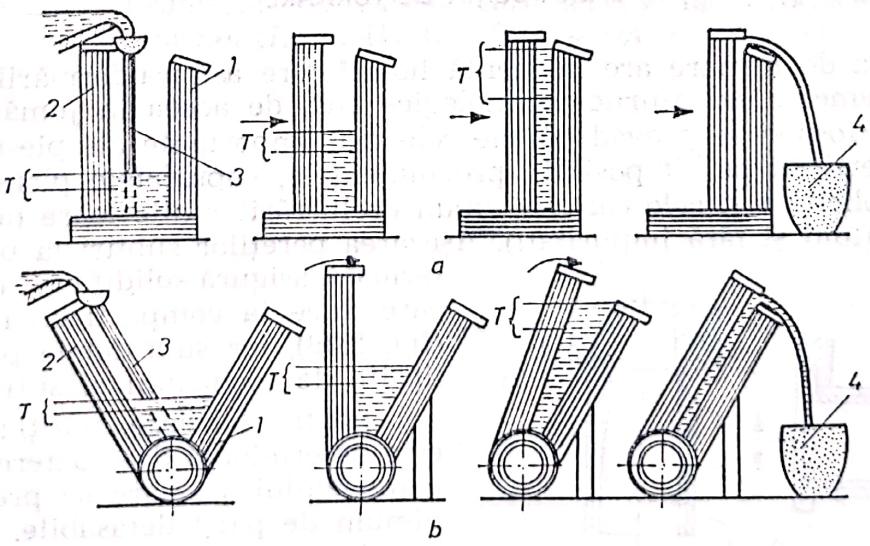


Fig. 2.38. Turnarea prin strîngere cu mișcare:
a — rectilinie; b — unghiulară.

2.4. ALEGEREA METODEI DE TURNARE

Alegerea metodei de turnare este determinată de condițiile de exploatare a piesei, forma și mărimea acesteia, numărul pieselor de același tip, calitatea necesară, productivitatea muncii, condițiile de muncă, aliajul de turnare etc., hotărîtoare fiind rentabilitatea (tab. 2.1).

Tabelul 2.1

Caracteristicile pieselor turnate considerînd ca indicator optim unitatea

Indicatori	Metode de turnare				
	Forme temporare			Cochilii	Presiune
	Pereți groși	Coji	Precizie		
Dimensiuni nelimitate	1	3	4	2	5
Configurații nelimitate	2	3	1	4	5
Preț echipament tehnologic	1	3	2	4	5
Durata asimilării	1	4	3	2	5
Număr economic minim de piese	1	3	2	4	5
Economicitatea, funcție de numărul de piese	4	3	5	2	1
Productivitate (ritm)	4	3	5	2	1
Rugozitatea suprafeței	5	3	2	4	1
Grosimea minimă a pereților piesei	4	3	1	5	2
Piese bune	4	3	2	5	1
Toleranțe la dimensiuni	5	3	2	4	1

În condițiile producției de masă și serie mare se alege metoda de turnare care asigură o mecanizare și automatizare maximă, a întregului proces tehnologic, o creștere a calității pieselor turnate și o reducere a costului.

2.4.1. POZIȚIA DE TURNARE

Poziția de turnare are influență hotărîtoare asupra formării, dimensiunilor ramelor, adaosurilor tehnologice etc., de aceea în jumătatea inferioară a formei se prevăd părțile cele mai importante ale piesei: pereți subțiri (verticali pe cît posibil), proeminențele, suprafețele plane importante și solicitate și cele care se supun prelucrărilor ulterioare (au nevoie de metal fluid și fără impurități). Așezarea pereților subțiri la partea inferioară asigură solidificarea dirijată, care duce la compactizarea pieselor (fig. 2.39), iar suprafețele plane sînt lipsite de incluziuni și sufluri.

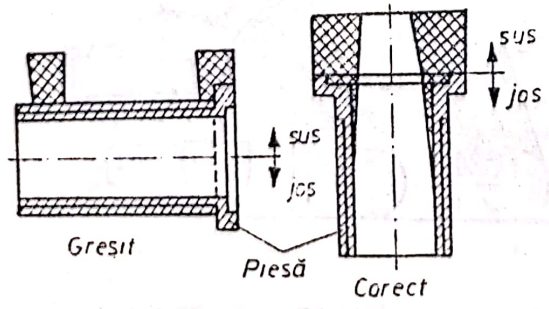


Fig. 2.39. Turnarea pieselor cilindrice.

Pentru formare, poziția pieselor este determinată de scoaterea ușoară a modelului, pe care se prevăd minimum de părți detașabile. Se recomandă ca poziția de formare să fie identică cu cea de turnare (în special la formarea mecanică).

Scanned with OKEN Scanner

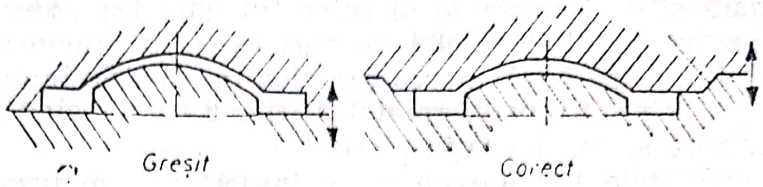


Fig. 2.40. Alegerea suprafețelor de separație.

Suprafețele de separație, determinate de pozițiile de formare și turnare, influențează tehnologia de execuție a modelelor, cutiilor de miez și miezurilor. Numărul suprafețelor de separație, determinat de forma piesei, trebuie să fie cît mai mic, întrucît crește precizia dimensională a pieselor turnate, iar pentru formarea mecanică se reduce la unul singur. Suprafețele de separație sînt determinate și de prelucrarea mecanică în dispozitive. În vederea eliminării trasării (fig. 2.40) se prevăd praguri de ghidare *1*.

2.4.2. ADAOSURI DIMENSIONALE

Adaosurile dimensionale sînt determinate de adaosurile pentru prelucrarea mecanică, cele de contracție și cele tehnologice. Inconstanța dimensională influențează negativ procesul de așchiere întrucît face imposibilă utilizarea dispozitivelor și regimurilor de așchiere tip. Adaosurile de prelucrare mecanică, și toleranțele respective, sînt funcție de aliaj, procedeul de turnare, complexitatea piesei (STAS 1592-66).

Adaosurile tehnologice cresc cu grosimea pereților piesei și sînt determinate de înclinația pereților verticali, solidificarea dirijată, cît și adaosul prevăzut pentru îndepărtarea maselotei.

2.4.3. REȚELE DE TURNARE

Rețelele de turnare (sistemul de alimentare) a pieselor cu metal lichid reprezintă ansamblul elementelor care servesc la introducerea metalului în cavitatea formei (fig. 2.41) și influențează direct cristalizarea pri-

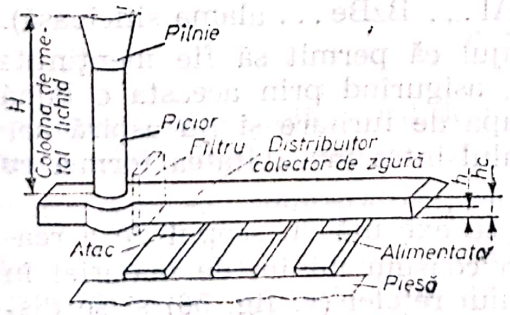


Fig. 2.41. Elementele rețelei de turnare.

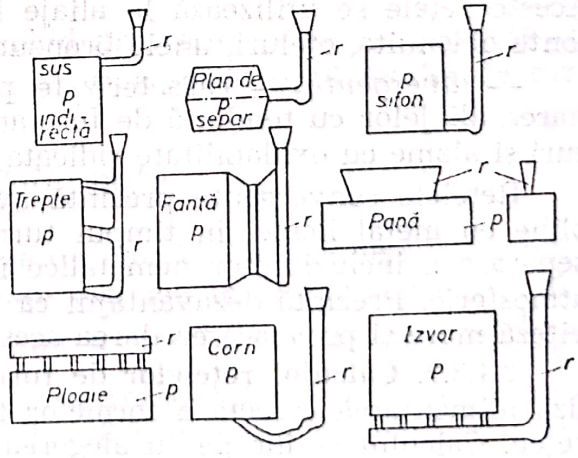


Fig. 2.42. Metode de alimentare a pieselor turnate:
r — rețele; p — piesă.

mară și deci calitatea pieselor turnate. De aceea, determinarea corectă a poziției (tipului) rețelei de turnare și a dimensiunilor acesteia sînt condiții de bază la obținerea pieselor turnate de bună calitate.

2.4.3.1. **Tipurile rețelelor** (fig. 2.42) se aleg funcție de materialul de turnare și configurația piesei.

Piesele turnate de mare importanță se prevăd a se turna cu filtre de zgură (STAS 4634-67), miezuri și colectoare de zgură, pentru a se reține incluziunile nemetalice și a se reduce pericolul eroziunii formelor. Dacă se necesită o introducere liniștită a metalului, rețeaua de turnare se execută în formă de corn. Piesele simple se toarnă cu rețea de turnare directă și în pană, dar pentru piesele înalte și de formă tubulară, se utilizează rețeaua „în ploaie". Această rețea permite introducerea liniștită a metalului cît și separarea incluziunilor. Tipurile enumerate de rețele de turnare se utilizează la turnarea fontelor. În cazul oțelului, cînd partea principală a piesei se găsește în semiforma superioară, se utilizează alimentarea în suprafața de separație. Totuși, turnarea în „sifon" a oțelului este mai răspîndită, întrucît permite umplerea liniștită a cavității formei cu metal lichid și chiar separarea incluziunilor. Dacă se toarnă piese mari, se utilizează rețelele de turnare cu alimentare în trepte, pentru îmbunătățirea condițiilor de umplere a formei și înlăturarea pericolului apariției reprizelor. Sulfurile și incluziunile se îndepărtează dacă se folosește rețeaua de turnare în formă de fantă, întrucît asigură o turnare liniștită.

La turnarea aliajelor care formează pelicule de oxizi (Cu, Ti) se utilizează numai turnarea în sifon. La turnarea Cu și a aliajelor sale, oțelului și fontei modificate cu Mg au o largă răspîndire rețelele de turnare în trepte și în formă de fantă. Pentru aliajele cu bază de Al se utilizează turnarea în sifon, întrucît necesită o umplere liniștită a formei. Piesele mici și mijlocii au astfel construite rețelele de turnare, încît acestea să joace și rol de maselotă, iar maselota și rol de colector de zgură. Cristalizarea dirijată se poate asigura folosind rețeaua de turnare în fantă.

Indiferent de tipul rețelelor de turnare acestea pot fi:

— *convergente* — caracterizate prin reducerea secțiunilor elementelor rețelei $A_p > A_d > A_a$, în care: A_p este secțiunea piciorului de turnare; A_d — secțiunea distribuitorului; A_a — secțiunea alimentatoarelor [cm^2]. Aceste rețele se utilizează la aliaje lipsite de fenomenul spumării ca: fonte obișnuite, oțeluri, unele bronzuri și alame.

— *divergente* — caracterizate prin $A_p < A_d \geqslant A_a$ și utilizate la turnarea aliajelor cu tendință de formare a spumei cum sînt, Al, Mg, bronzuri și alame cu oxidabilitate ridicată (BzAl ... BzBe ... alama silicioasă).

Rețelele convergente prezintă avantajul că permit să fie menținute pline cu metal lichid, în timpul turnării, asigurînd prin aceasta o bună separare a incluziunilor nemetalice în cupa de turnare și nu aspiră aer atmosferic. Prezintă dezavantajul că metalul intră în cavitatea formei cu viteză mare și provoacă erodarea acesteia.

2.4.3.2. **Calculul rețelelor** de turnare se execută cu scopul de a realiza alimentarea corectă a formelor la un consum minim de material în rețea. Calculul se începe cu alegerea tipului rețelei (v. fig. 56) și se disting mai multe metode. Dintre acestea, metoda bazată pe principiul *frînării hidraulice* (foarte larg utilizată) la care pe cale practică se determină alimentarea „minimă" cu material lichid, adică, secțiunea minimă

Scanned with OKEN Scanner

a unui alimentator este prezentată în continuare. Aceasta se realizează cu ajutorul temperaturii de turnare și presiunii metalostatice minime admise a materialului lichid din piciorul de turnare. În acest caz se pune condiția ca piesele după turnare să nu aibă defecte. Determinarea secțiunii alimentatorului se face, pentru diversele aliaje cu ajutorul tabelelor care pun la dispoziție valorile determinate experimental. Secțiunea celorlalte elemente ale rețelei se determină din rapoarte de forma $A_a:A_d:A_p=1:(0{,}9\ldots1{,}11):(0{,}8\ldots1{,}15)$, în care la calcule se consideră A_a=unitatea sau 100%.

O altă metodă utilizată este cea în care se determină durata *optimă de turnare*, sau viteza de turnare. Astfel pentru piese din fontă și oțel: $t_0=k\cdot\sqrt{G}$ [min], în care t_0 este durata optimă de turnare; G — masa piesei împreună cu rețeaua de turnare [kg]; k — coeficient care ține seama de masa pieselor, grosimea pereților piesei și de aliaj. În cazul cînd masa pieselor de fontă depășește 450 kg se utilizează relația: $t_0=k_1\cdot\sqrt{1{,}24\cdot G}$, în care k_1 este coeficient de corecție cu valoarea 1, pentru grosimi medii ale pereților piesei turnate pînă la 10 mm; 1,3 pentru grosimi 11 ... 20 mm; 1,5 pentru 31 ... 40 mm și 1,7 pentru grosimi de peste 41 mm.

Aceste formule empirice, cît și altele asemănătoare acestora determinate după date practice, au în vedere condițiile practice, dar nu au sens fizic.

Determinarea duratei optime de turnare trebuie însă, să îndeplinească următoarele trei condiții: $t_0<t_1$, în care t_1 este timpul socotit de la începutul turnării și începutul apariției reprizelor sau umplerii incomplete a formei; $t_0<t_g$, în care t_g este timpul calculat de la începutul turnării pînă la stabilizarea $p_g\leqslant\rho\cdot H$, adică atunci cînd presiunea gazelor — p_g în formă este egală sau mai mică decît presiunea metalului lichid și în special pentru piese mari; $t_0<t_a$ în care t_a este timpul la care începe să interacționeze cavitatea formei și metalul lichid datorită căldurii acestuia. Metoda de calcul a rețelelor bazată pe minima alimentare ține cont doar de prima condiție.

În cazul turnării pieselor mici și mijlocii, care se toarnă în forme metalice $t_0=k_2\cdot\sqrt{\delta\cdot G}$, unde: δ este grosimea pereților piesei [cm]; k_2 — coeficient cu valoare de 3,9 la turnarea directă; 3,4 la turnarea laterală și 3 la turnarea în sifon.

Viteza de curgere a metalului lichid prin alimentator, se calculează pe baza legilor cunoscute din hidraulică, funcție de tipul rețelei de turnare. În formă generală:

$$v=\mu\sqrt{2gH}\quad[\text{m/s}],$$

în care: μ este coeficientul de pierdere de viteză. Dacă se neglijează creșterea viscozității metalului lichid, care are loc în timpul turnării, din cauza reducerii temperaturii, valorile lui μ sînt funcție de: $\mu=\frac{1}{1+\Sigma\xi}$ în care ξ reprezintă suma coeficienților de rezistență hidraulică de-a lungul rețelei de turnare. Empiric, $\xi=0{,}3\ldots0{,}5$, în cazul pieselor de fontă turnate în forme crude; 0,6 ... 0,7, în cazul pieselor turnate în forme uscate sau în cazul formelor turnate din metale neferoase, dar cu pereți groși și 0,3 ... 0,4 pentru piese complicate din aliaje neferoase.

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea alimentatorului se poate determina:

$$A_a = \frac{G}{v \cdot \rho \cdot t_0} \text{ [m}^2\text{]},$$

în care ρ este densitatea în daN/m³. Celelalte secțiuni a elementelor rețelelor de turnare se calculează funcție de tipul rețelei adoptate — divergentă, convergentă.

2.4.4. MASELOTE

Maselotele sînt rezervoare de metal lichid care solidifică ultimele și au rolul de alimentator cu metal lichid al piesei propriu-zise în timpul cristalizării acesteia. Maselota previne formarea retasurii de contracție în piesă și asigură solidificarea dirijată (fig. 2.43).

Tipurile de maselote sînt funcție de aliaj și configurația piesei și pot fi: *directe* (fig. 2.44), cînd sînt așezate deasupra piesei — *a* și *b*, sau pot fi plasate *lateral* — *c* și *d*. În ambele cazuri maselotele pot fi deschise sau închise și au totdeauna secțiunea orientată după suprafața de așezare pe piese. Maselotele directe (obișnuit închise), în cazul fontelor nodulare și a oțelului, se așază deasupra nodurilor termice. Maselotele laterale se folosesc la piesele turnate din fontă nodulară, unele oțeluri și bronzuri cu contracție ridicată. Maselotele laterale închise se aplică numai la combaterea retasurilor din nodurile termice și sînt atașate, de obicei la rețeaua de turnare — *d*. În toate cazurile, maselota trebuie să fie partea ultimă care se solidifică, și în acest caz se va alimenta continuu cu metal lichid pe toată durata solidificării piesei, concomitent, asigurînd o solidificare dirijată. În această situație, retasura de contracție se formează în maselotă, care după dezbatere se îndepărtează. În vederea ușurării operației legate de îndepărtarea maselotei se practică gîtuirea acestora.

În scopul îmbunătățirii eficacității maselotelor sau a reducerii volumului acestora, în practică se utilizează: alimentarea cu metal lichid direct în maselotă, izolarea termică a maselotei (în special la turnarea în

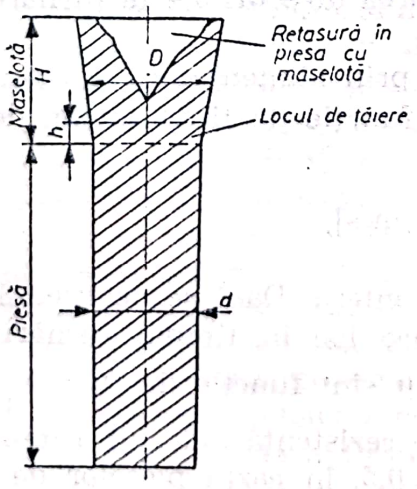


Fig. 2.43. Maselota la solidificarea piesei.

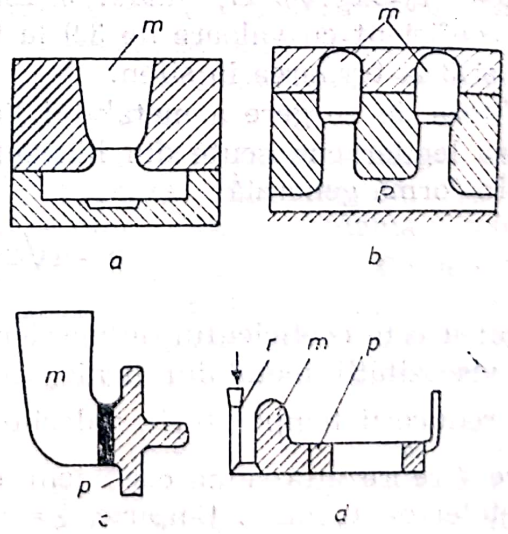


Fig. 2.44. Maselote directe:
a — deschisă; b — închisă; și laterale; c — deschisă; d — închisă.

Scanned with OKEN Scanner

cochilie), încălzirea maselotei (la turnarea pieselor mari), alimentarea maselotei cu metal lichid și în timpul solidificării piesei, introducerea în maselotă a unor substanțe cu reacții chimice exoterme, sau utilizarea presiunilor ridicate în maselotele închise etc.

Maselota, alimentînd piesa cu metal lichid în timpul solidificării, trebuie să solidifice ultima. De aceea, pentru a reduce pierderile de căldură, se stabilesc: poziția și forma constructivă a maselotei, astfel încît aceasta să aibă un raport minim între suprafață și volum și să aibă forme sferice, cilindrice, pătratice etc. Cele mai utilizate maselote au formă cilindrică, cu raport de $H/D=0,5$ (în cazul maselotelor închise) și $H=D$ (în cazul maselotelor deschise), în care H este înălțimea maselotei și D — diametrul acesteia.

2.5. METODE SPECIALE DE TURNARE

Metodele speciale de turnare se aplică atît la turnarea lingourilor cît și a pieselor în vederea reducerii neuniformității structurii, compactizării acesteia, mărunțirii grăunților, economiei de metal etc.

2.5.1. TURNAREA SUB PRESIUNE

Turnarea sub presiune a lingourilor (fig. 2.45) se execută la 30 atm și se reduc porozitățile gazoase care apar din cauza îngreunării condițiilor de evacuare a acestora din oțelul subrăcit sau datorită răcirii bruște în forma de grafit *1* sub acțiunea presiunii aerului, cînd metalul lichid se ridică prin conducta *2*, din oala *3*, introdusă în recipientul *4*. Prin această metodă se pot turna brame și țagle din oțel inoxidabil.

2.5.2. TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI

Turnarea continuă a oțelului s-a introdus în scopul înlăturării turnării lingourilor și a laminoarelor de semifabricate (degrosoare), care necesită investiții mari. De asemenea, se înlătură fenomenele de segregație în lingouri, striparea și pierderile prin șutare după laminare.

Turnarea directă în semifabricate înlătură neajunsurile semnalate ajungînd ca pierderile de oțel să fie numai de 6% față de 16% la turnarea în lingotiere.

Instalația de turnare continuă (fig. 2.46) constă în trecerea oțelului din oala *1* în pîlnia intermediară *2*, și apoi în cristalizorul *3*, (confecționat din Cu cromat) răcit cu apă. Oțelul solidifică rapid la margine și se extrage cu ajutorul trenului cu role pentru ghidare *4*, unde se răcește din nou și are loc solidificarea completă, după

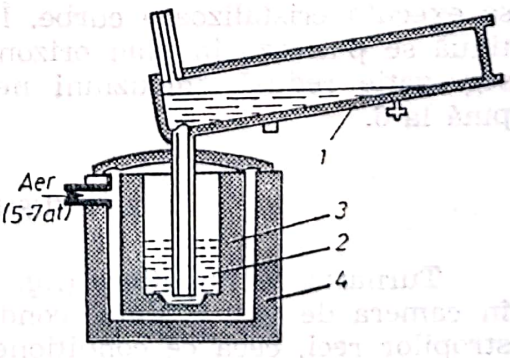


Fig. 2.45. Turnarea lingourilor sub presiune.

Scanned with OKEN Scanner

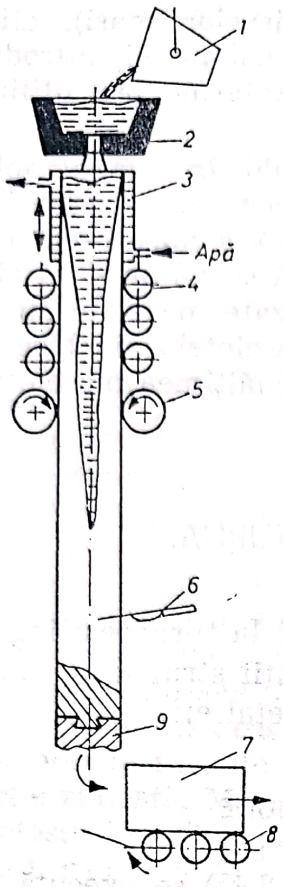


Fig. 2.46. Turnarea continuă.

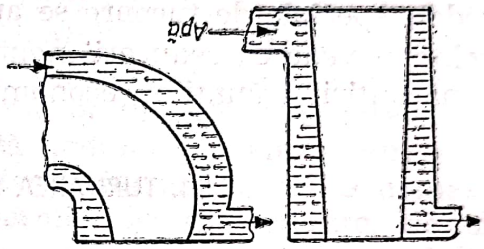


Fig. 2.47. Cristalizoare:
a – drepte; b – curbe.

care se trage cu instalația 5. Materialul solidificat se debitează la lungimi corespunzătoare cu ajutorul flăcării oxigaz 6 și după răsturnare ca în poziția 7, pe calea cu role 8 este trecut la depozitare sau laminarea în continuare.

Formele interioare ale cristalizatorului corespund formei semifabricatului și pot fi drepte sau curbate (fig. 2.47).

Cristalizoarele sînt înclinate și în timpul funcționării se lubrifiază cu ulei de rapiță, parafină. De asemenea cristalizoarele execută o mișcare de coborîre, odată cu semifabricatul pe lungime de 25 mm și urcare, cu raport de 1 : 3. Cristalizorul se poate vibra cu 70 curse/min. pentru a preveni fisurile transversale. Procesul se amorsează prin opturare cu o bară 9 pe care solidifică materialul turnat inițial.

Instalațiile de turnare fiind foarte înalte se înlocuiesc cu instalații care produc îndoirea semifabricatului după instalația de tragere 5, sau se execută cristalizoare curbe. În ultimul caz instalația de turnare continuă se plasează în plan orizontal. Produsele turnate au structură fină, segregație redusă, incluziuni nemetalice puține și asigură un coroiaj pînă la 6.

2.5.3. TURNAREA ÎN LINGOTIERE

Turnarea în lingotiere (fig. 2.48) are loc prin montarea lingotierei 1, în camera de vid 2. Vidul condiționează împrăștierea jetului și apariția stropilor reci, ceea ce condiționează turnarea, în sifon. Vidarea se poate face împreună cu oala de turnare (fig. 2.49), sau direct pe lingotieră fără a se mai produce stropi (b).

Scanned with OKEN Scanner

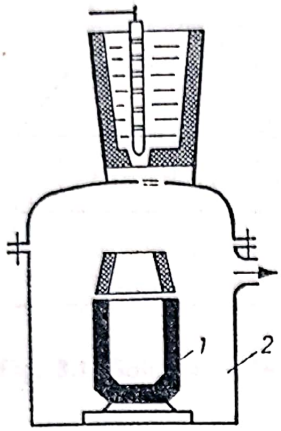


Fig. 2.48. Turnarea în camera de vid.

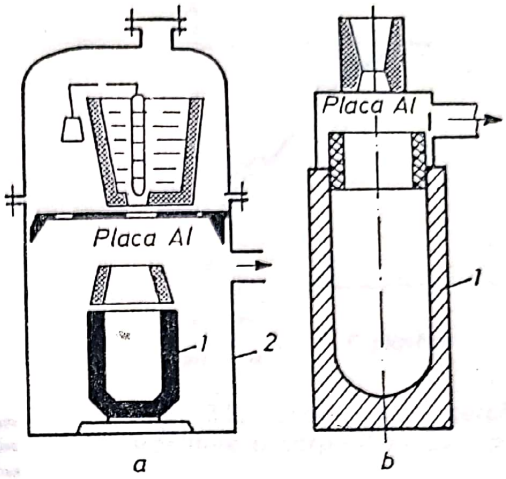


Fig. 2.49. Turnarea cu vidarea oalei și lingotierei:
a — cu vidare; b — lingotieră.

2.5.4. ELABORAREA ȘI TURNAREA ÎN VID

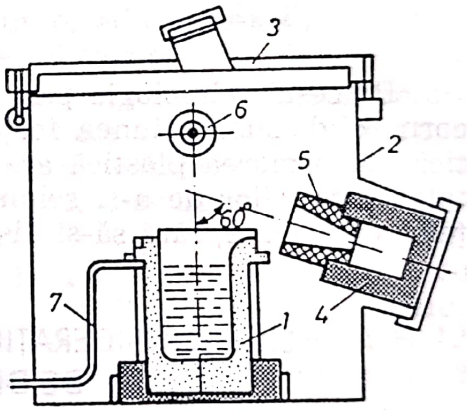


Fig. 2.50. Elaborarea și turnarea în vid.

Elaborarea și turnarea în vid (fig. 2.50) este utilizată în cazul elaborării în cuptoare cu înaltă frecvență *1*, montate în recipientul *2*, prevăzute cu capacul *3* (răcit cu apă), lingotiera *4* cu pîlnia *5* și orificiul *6* spre instalația de vid și de răcire *7*. După topire cuptorul se basculează și metalul se toarnă în lingotieră.

Acest procedeu permite obținerea unei compoziții chimice exacte, o dezoxidare cu C, oxizii se reduc substanțial cît și celelalte incluziuni, hidrogenul scade pînă la 10 ori, oxigenul pînă la 2,5 ori iar azotul pînă la 5 ori. Pentru Fe tehnic superior (cca 0,005% C și 0,004% O_2 dizolvat) baia metalică se tratează cu hidrogen. Oțelul elaborat în cuptor cu inducție turnat în vid are o rezistență la oboseală cu 50% mai mare decît același oțel elaborat în cuptorul electric cu arc. Oțelul destinat rulmenților mărește considerabil durabilitatea în serviciu a acestora.

3

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN DEFORMĂRI PLASTICE (DP)

Procesul tehnologic prin care se schimbă forma și dimensiunile unui corp solid, sub acțiunea forțelor exterioare se numește deformare plastică. Deformarea plastică are la bază proprietatea de plasticitate (capacitatea corpurilor de a-și schimba forma și dimensiunile sub acțiunea forțelor exterioare, fără să-și distrugă integritatea).

3.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICĂ

Dacă asupra unui corp se exercită o forță exterioară P, în corp apar tensiuni interne care tind să modifice forma și dimensiunile corpului. Această modificare se numește *deformare*. Deformarea poate fi: elastică (corpul revine la dimensiunile inițiale după înlăturarea forțelor exterioare); plastică (permanentă) și de distrugere. Deformația absolută $\Delta l = l_f - l_0$ (fig. 3.1) și cea relativă $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}\ 100\%$ este funcție de valoarea forței P, sau efortului specific $\sigma = P/A_0$ în care: A_0 este aria probei asupra căreia acționează forța. În cazul unei deformații mari, lungimea reală este:

$$l = \int_{l_0}^{l_f} \frac{\varphi\, dl}{l} = \ln l_f/l_0 = \ln A_0/A_f = l_n(l/1 - \varphi).$$

În corpuri apare întîi deformația elastică (se modifică dimensiunile rețelei cristaline) și există o proporționalitate, adică se respectă legea lui Hooke $\sigma_p = \varepsilon_e \cdot E_e$, în care E este modulul de elasticitate normal. Peste punctul *1* (fig. 3.2) nu se mai respectă proporționalitatea, materialele sînt încă elastice, și în punctul *2* apar și deformațiile plastice, cînd părți ale cristalului se deplasează în raport cu altele și nu mai revin la poziția ini-

Scanned with OKEN Scanner

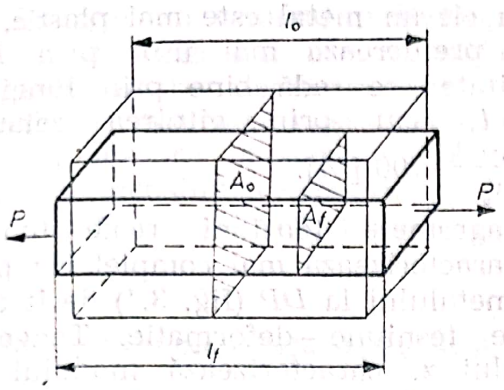


Fig. 3.1. Solicitarea la tracțiune.

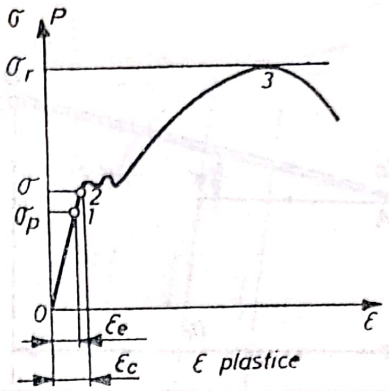


Fig. 3.2. Diagrama încercării la tracțiune a corpurilor elasto-plastice.

țială după îndepărtarea sarcinii — deformația se menține. Prin urmare deformarea plastică se caracterizează prin:

— are loc la o valoare a lui $\sigma > \sigma_e$ denumită limită de curgere σ_c;
— nu este proporțională cu creșterea lui σ, adică $\sigma \neq \varepsilon \cdot E$;
— are loc prin deplasarea unor părți ale cristalelor.

Trebuie remarcat faptul că tensiunile normale nu provoacă deformații plastice oricît ar fi de mari (are loc o rupere fragilă). Deformațiile plastice sînt provocate de tensiunile tangențiale, care dacă depășesc o anumită limită distrug materialul prin forfecare, distrugere plastică (întovărășită de o deformație plastică prealabilă).

Procesul de deformare plastică are loc pe planele cristalografice cu densitate maximă de atomi și putem distinge pentru rețeaua *CVC* planul 110, total 6 plane neparalele, *CFC* planul 111, total 4 plane, iar în H 12 planul bazei, total 2 plane. Din această cauză materialele cu rețea H 12 sînt mai puțin plastice.

Deformarea plastică se poate face prin lunecări (fig. 3.3) sau prin maclare cînd o parte a cristalului deformat ocupă o poziție simetrică, reflectată, în raport cu cealaltă parte. Procesul lunecării și maclării are loc în salturi, și datorită deformațiilor rețelei cristaline și fărîmițării cristalelor, materialul devine mai rezistent, în locul deformat. În acest fel, la creșterea sarcinii apar lunecări pe alte plane paralele sau chiar pe alte direcții. Deformarea este uniformă pînă în punctul *3*, iar materialele se prelucrează prin *DP* între punctele *2* și *3*.

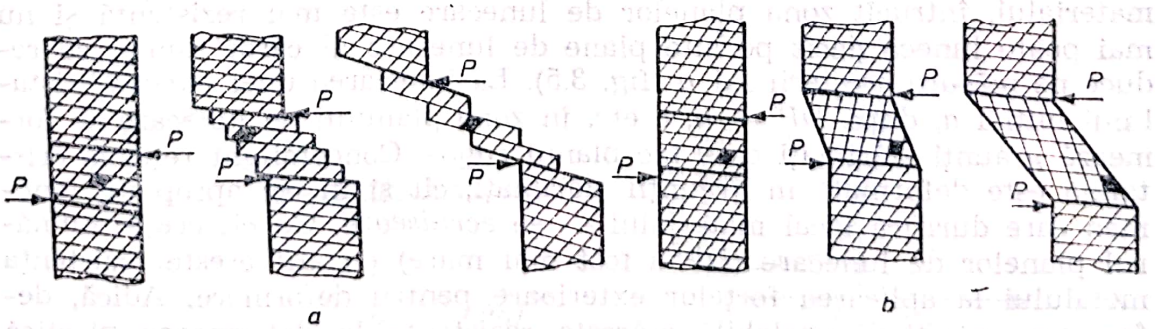


Fig. 3.3. Schema DP:
a — prin lunecare; b — prin maclare.

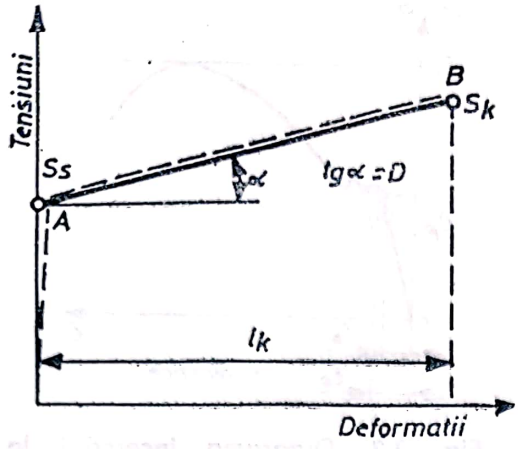


Fig. 3.4. Diagrama reală tensiune-deformație.

Cu cît un metal este mai plastic, cu atît se prelucrează mai ușor prin *DP*. Plasticitatea se redă bine prin lungirea reală l, sau prin gîtuirea relativă $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100$ [%].

Diagramele tensiuni reale—lungiri reale caracterizează mai complet comportarea metalului la *DP* (fig. 3.4) decît diagramele tesniune—deformație. Tangenta unghiului α, caracterizează modulul de plasticitate (D). Din figura 3.4 rezultă că:

$$D = \frac{S_k - \sigma_{02}}{l_k} \text{ sau } l_k = \frac{S_k - \sigma_{02}}{D}.$$

Prin urmare plasticitatea depinde de rezistența de distrugere, de limita de curgere și de modulul D. Întrucît cu creșterea temperaturii σ_{02} și D scad foarte mult, iar S_k variază în măsură mai mică, plasticitatea materialelor crește considerabil cu temperatura și în consecință se ușurează prelucrarea metalelor prin *DP*.

Cu ajutorul diagramei reale (fig. 3.4) se poate determina lucrul mecanic de deformație (L_d) sau tenacitatea materialului, prin aria trapezului cu bazele S_k și σ_{02} și înălțimea l_k — adică:

$$L_d = \frac{S_k + \sigma_{02}}{2} l_k = \frac{S_k + \sigma_{02}}{2} \cdot \frac{S_k - \sigma_{02}}{D} = \frac{S_k^2 - \sigma_{02}^2}{2D}.$$

Prin urmare tenacitatea depinde de aceleași valori ca și plasticitatea dar la puterea 2, motiv pentru care *DP* se execută în mod obișnuit la cald.

3.2. INFLUENȚA DIFERIȚILOR FACTORI ASUPRA PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICĂ

Procesul de *DP* începe la ($\sigma_1 > \sigma_{02}$) solicitări superioare limitei de elasticitate (curgere), cînd crește și limita de curgere de la punctul *1* la punctul *2* etc. (la o reîncărcare), din cauza lunecărilor care au durificat materialul, întrucît zona planelor de lunecare este mai rezistentă și nu mai poate luneca decît pe alte plane de lunecare al căror număr se reduce pe măsura creșterii lui σ (fig. 3.5). La lunecarea unei părți a cristalului inițial *a*, după *DP* — *b*, *c* etc. în zona planului de lunecare se formează grăunți sfărîmați care fac planul rugos. Concomitent rețeaua cristalină este deformată în grăunții sfărîmați, cît și în cei apropiați, fenomen care durifică local materialul — se *ecruisează*. Cu cît crește numărul planelor de lunecare (*DP* a fost mai mare) cu atît crește rezistența metalului la aplicarea forțelor exterioare pentru deformare. Adică, deformarea plastică prealabilă mărește rezistența la deformarea plastică următoare, mărește limita de curgere și duritatea și reduce plasticitatea metalului, datorită reducerii numărului de plane de lunecare.

Scanned with OKEN Scanner

Lunecările nu numai că divizează grăunții dar îi și lungesc în direcția *DP* (se întorc cu axele de rezistență maximă în sensul direcției de deformare) și apare *textura* de *DP*. Pe măsura creșterii gradului de *DP* crește și densitatea materialului (raportul dintre secțiunea inițială și finală a piesei deformate).

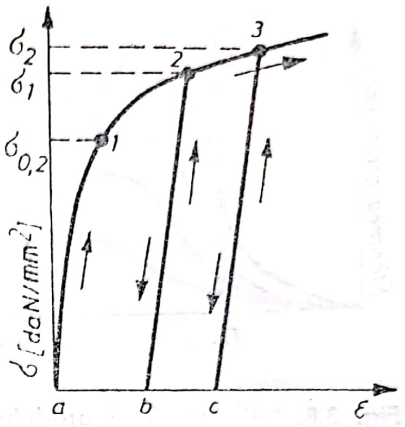


Fig. 3.5. Diagrama la solicitări repetate.

3.2.1. INFLUENȚA TEMPERATURII

Procesele care au loc în structura metalelor la *DP* (lunecări, maclări, sfărîmări de grăunți, deformarea rețelei cristaline) duc la o structură metastabilă. Trecerea la o structură mai stabilă are loc spontan, decurge însă foarte lent din cauza mobilității reduse a atomilor. Spontan are loc prin urmare regenerarea rețelei cristaline și creșterea grăunților prin care crește din nou plasticitatea. Cristalele mici au energie internă mai mare (suprafața de separare mare) și tind să obțină o energie internă mai mică (vor crește, — are loc recristalizarea). Cu cît gradul de *DP* a fost mai mare, cu atît structura a fost mai fărîmițată, cu atît tendința de a trece în structură mai stabilă crește, adică scade temperatura minimă de recristalizare (fig. 3.6). Procesul de recristalizare (fig. 3.7) decurge relativ lent la $T<T_{recr}$ și $T>T_{recr}$ și rapid (în salturi) la T_{recr}.

Temperatura de recristalizare are mare importanță practică, în primul rînd, pentru a reface structura și proprietățile metalului ecruisat în vederea continuării procesului de prelucrare prin *DP* la rece. De regulă, pentru accelerarea procesului de recristalizare, temperatura se alege mai mare decît temperatura teoretică — T_{recr} — adică se execută o *recoacere*. În al doilea rînd se stabilește T_{min} pentru prelucrarea prin *DP* la cald ($T>T_{recr}$) prin care se anulează imediat lunecările și ecruisarea, chiar în timpul procesului de *DP*, adică recristalizarea decurge concomitent cu durificarea și cu ecruisarea în procesul de *DP*. Prin urmare, prelucrarea prin deformare plastică la temperatura $T<T_{recr}$ se numește *DP* la rece, iar cea care are loc la $T>T_{recr}$ — *DP* la cald.

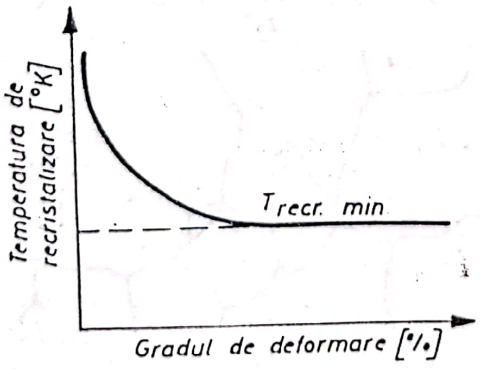


Fig. 3.6. Influența gradului de deformare asupra T_{recr}

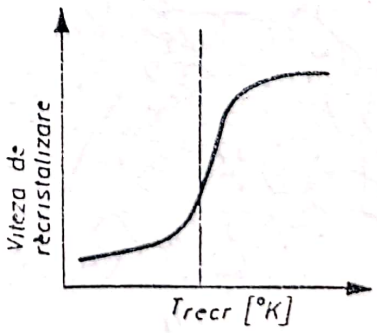


Fig. 3.7. Dependența recristalizării de T.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

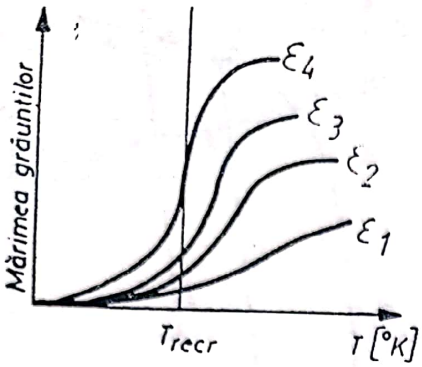


Fig. 3.8. Influența T și gradului de ecruisare asupra mărimii grăunților.

3.2.2. INFLUENȚA GRADULUI DE DEFORMARE PLASTICĂ ȘI A MĂRIMII GRĂUNȚILOR

Temperatura de recristalizare duce la mărirea grăunților (fig. 3.8), cu atît mai intens, și la temperaturi mai joase cu cît gradul de *DP* este mai mare ($\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 \ldots \varepsilon_n$) întrucît se reduce energia liberă a sistemului datorită micșorării suprafeței de separație. Adică, energia superficială a sistemului este raportul dintre suprafață și volum (S/V). De aici se observă că există și tendința de sferoidizare. Aceasta înseamnă că la recristalizare vom obține grăunți mari pe seama celor mici datorită aglomerării, adică are loc creșterea grăunților și sferoidizarea acestora. Cu cît diferența dintre dimensiunile cristalelor inițiale este mai mare, cu atît acest proces decurge mai repede. Recristalizarea are loc de fapt în două etape (fig. 3.9):

a — recristalizarea primară — cristale mici, alungite, revin la forma rotunjită anterioară (grăunți mici, neorientați);

b — recristalizarea secundară care începe la temperaturi mai mari și este însoțită de creșterea grăunților mari pe seama celor mici, tendință care crește cu temperatura de recristalizare — *c*, pînă cînd se obțin numai grăunți mari — *d*. Cu cît durata de menținere la aceeași temperatură este mai mare cu atît dimensiunea finală crește (fig. 3.10). Prin urmare dimensiunile finale a grăunților depind de *T* și durata de recris-

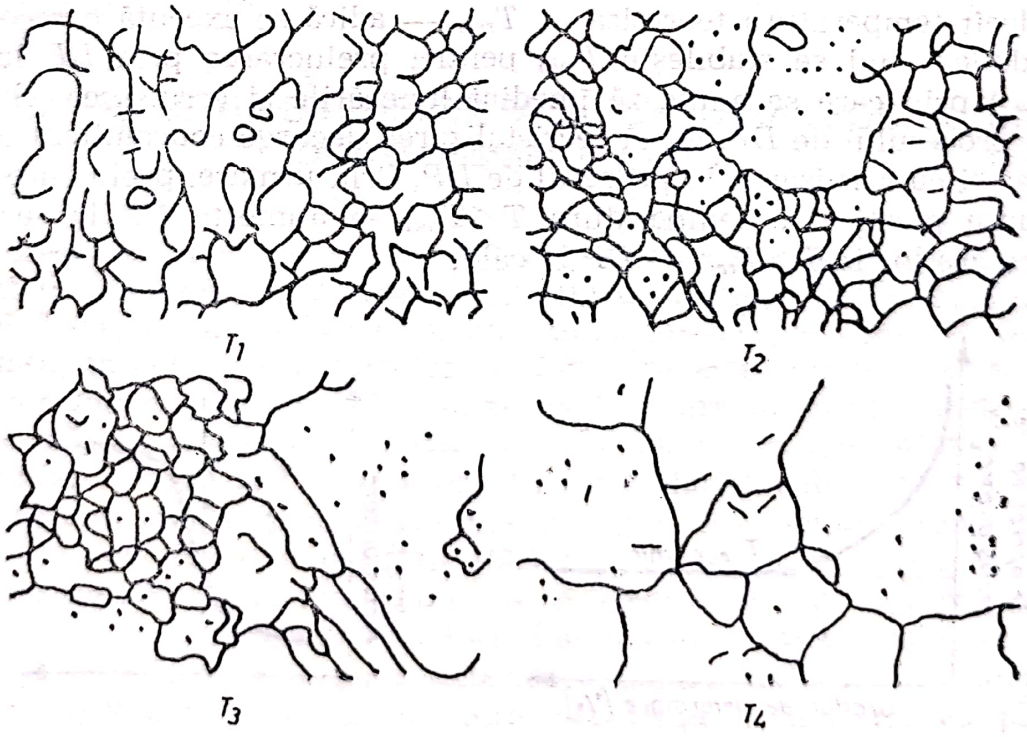


Fig. 3.9. Creșterea grăunților la recristalizarea: a — primară; b . . . d — secundară; $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$.

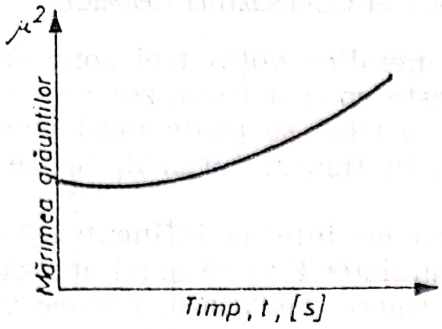


Fig. 3.10. Influența duratei de menținere asupra mărimii grăunților.

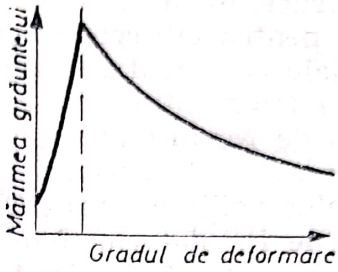


Fig. 3.11. Influența gradului *DP* asupra grăuntelui după recristalizare.

talizare, de structura inițială după *DP* și alți factori. În cazul unei structuri formate din puține cristale inițiale (mari) și multe cristale mici, cele mari „le înghit" pe cele mici și în final se obține o structură grosolană. Dacă însă, inițial vom avea o granulație uniformă, creșterea cristalelor la recristalizare decurge mai puțin intens, întrucît diferența energiei potențiale a diferiților grăunți este mai mică.

Funcție de gradul de deformare structura se fărîmițează din ce în ce mai mult și mai uniform, iar tendința de creștere la recristalizare scade. Deci la un anumit grad de *DP* structura va avea o tendință accentuată de creștere a grăuntelui la recristalizarea ulterioară, iar mărirea gradului de *DP*, peste acest prag critic, duce la micșorarea tendinței de creștere (fig. 3.11). În cazurile *DP* la care se obțin grăunți de dimensiuni maxime după recristalizare, se numește *grad critic de deformare* și are valori de 5 ... 10% pentru majoritatea metalelor. Din cauza proprietăților mecanice scăzute și neuniforme a materialelor *DP* la acest grad critic, în practică, se evită deformarea la aceste valori.

Din cele expuse rezultă că dimensiunile grăunților se reduc pe măsura creșterii gradului de *DP* (peste cel critic) și a reducerii temperaturii de recristalizare.

Din diagramele complete de recristalizare (fig. 3.12) se observă care sînt gradele de *DP* (funcție de T_{recr}) ce trebuiesc evitate. Se remarcă faptul că mărirea bruscă a grăunților, la grade critice de *DP*, are loc numai la temperaturi înalte de recoacere — *a* și că apare un al doilea maxim de mărire bruscă a grăunților — *b*, la grade de *DP* și T_{recr} foarte ridicate. Primul maxim — *a*, se explică prin contrastul dintre dimensiunile grăunților după *DP*, cel de al doilea maxim — *b*, prin textura completă obținută la grade mari de *DP* (la rece) care favorizează mărirea tuturor grăunților mici.

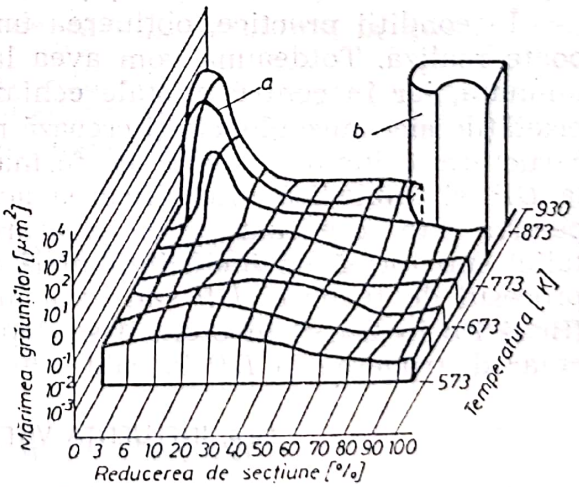


Fig. 3.12. Diagrama completă de recristalizare a aluminiului.

3.2.3. INFLUENȚA STRUCTURII INIȚIALE ȘI COMPOZIȚIEI CHIMICE

Întrucît după turnare materialele metalice obțin trei zone caracteristice, pentru *DP* cea mai favorabilă este zona a treia, zona cu cristale echiaxiale cu orientare arbitrară. Zona a treia se poate mări prin: turnare cu temperatură joasă, amestecare în timpul turnării, răcire lentă, crearea de Nc forțate etc.

Dimensiunile grăunților și structura lor internă influențează puternic prelucrabilitatea prin *DP*. La o granulație fină se ameliorează capacitatea de *DP* datorită faptului că la curgerea metalului fiecare grăunte se deformează ca un cristal separat — în anumite direcții cristalografice. Deoarece fiecare grăunte se deformează neuniform în diferite direcții, între doi grăunți învecinați, cu orientare diferită, în timpul *DP* apar forțe elastice (tensiuni). La cristalele mici, tensiunile provocate de schimbarea neuniformă a formei grăunților sînt neînsemnate ca valoare și de regulă nu depășesc forțele de coeziune. La granulație mare deformarea diferiților grăunți este așa de neuniformă, iar forțele provocate de această neuniformitate a deformației sînt așa de mari, încît poate duce la rupturi între diferiții grăunți. Neuniformitatea la deformarea diferiților grăunți mărește fragilitatea structurii grăunților mari sub acțiunea sarcinilor dinamice (șoc). Rupturile parțiale (locale) care apar între diferiți grăunți, joacă rolul de crestătură și favorizează în și mai mare grad concentrarea tensiunilor în acest loc — ruptura progresează și duce la distrugere.

Metalele cu granulație mare, care la o încărcare lentă manifestă o limită de elasticitate scăzută, au fragilitate la sarcini dinamice. Aceasta este important la prelucrarea prin presiune întrucît materialele cu granulație mare au tendință de fisurare la prelucrarea la cald și rece.

Deformarea plastică se înrăutățește și prin aceea că la aliajele eterogene, puternic aliate, cînd aceste elemente se amplasează la limita grăunților și au fragilitatea mai mare decît matricea, slăbesc legătura dintre grăunți și reduc capacitatea de *DP*, limitele dintre grăunți fiind obstacole pentru curgerea metalelor. Creșterea suprafeței dintre grăunți favorizează dispersia uniformă a fazelor dure (la limite și în interiorul grăunților) și cresc proprietățile tehnologice și mecanice. Aceste proprietăți cresc cu creșterea gradului de ramificație, subțiere și finisare a însăși dendritelor (se îmbunătățește structura internă a grăunților).

În condiții practice, obținerea unor structuri turnate „ideale" nu se poate realiza. Totdeauna vom avea la marginea pieselor o structură columnară, iar în centru cristale echiaxiale mai fine. Aceasta reduce proprietățile mecanice globale și creează neuniformitatea acestora pe secțiune. Structura columnară duce la formarea fisurilor atît la turnare cît și la *DP*, și împiedică intensificarea acestor procese. Neuniformitatea respectivă este accentuată și de separarea eutecticilor, compușilor intermetalici sub formă de incluziuni mari și fragili, care duc la distrugere în procesul de turnare, *DP* sau exploatare. Unele impurități ușor fuzibile (Bi și Pb în Cu; S în oțeluri) se depun pe limita de separație și produc chiar distrugerea la *DP* la cald.

3.2.4. INFLUENȚA VITEZEI DE DEFORMAȚIE

Pentru a determina dacă deformarea s-a produs la cald sau la rece (ecruisare) trebuie ținut seama și de viteza de deformare. În cazul vitezelor mici de deformare, recristalizarea are loc totdeauna la o $T > T_{recr}$.

Scanned with OKEN Scanner

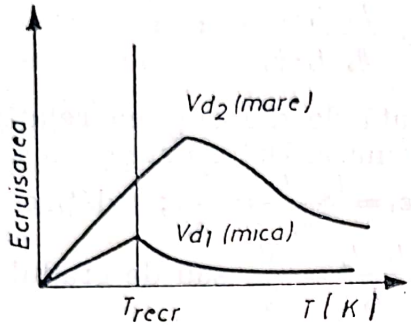


Fig. 3.13. Influența v_d asupra ecruisării și T_{recr}.

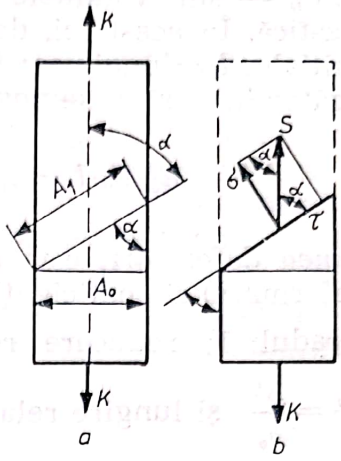


Fig. 3.14. Determinarea tensiunilor de deformare în plan înclinat.

La viteze mari de deformare, fenomenul de recristalizare poate să nu se termine și materialul se va ecruisa parțial. Astfel, se observă că la $v_{d2} > v_{d1}$, materialul rămîne în stare ecruisată chiar la încălzirea peste T_{recr} (fig. 3.13). Pe măsura creșterii temperaturii viteza de recristalizare crește, de aceea, la *DP* la cald se folosesc temperaturi mult superioare temperaturilor T_{recr} cu 100 ... 500 K atît pentru a mări plasticitatea cît și pentru a elimina ecruisarea.

3.2.5. INFLUENȚA STĂRII TENSIONATE

Proba cu secțiunea A_0 este lungită cu ajutorul forței P. În acest caz, tensiunea $K=P/A_0$ (fig. 3.14). Îndepărtînd partea superioară a probei și înlocuind-o cu acțiunea forței interioare egală cu P, pe această secțiune apare tensiunea $S=P/A_1=K\cdot A_0/A_1$. Dar, $A_0/A_1=\sin\alpha$ și $s=k\sin\alpha$. Dacă se descompune s în tensiunile normale σ și tangențiale τ vom obține: $\tau = s\cos\alpha = k\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha$ și întrucît $\sin\alpha\cos\alpha=1/2\sin 2\alpha$ obținem: $\tau=\frac{1}{2}k\sin 2\alpha$. De aici se vede că τ_{max} se obține la $\alpha=45°$, cînd $\sin 2\alpha=1$ și în acest caz $\tau=0{,}5\,k$. Aceasta este forța tangențială necesară pentru efectuarea deformărilor plastice la orice schemă de stare tensionată, care reiese din legea tensiunilor tangențiale.

3.3. LEGILE DEFORMĂRII PLASTICE

Procesul de *DP* se supune unor legi general valabile dintre care cele mai importante sînt prezentate în continuare.

3.3.1. LEGEA VOLUMULUI CONSTANT

În timpul procesului de *DP* la schimbări succesive ale formelor geometrice ale materialului metalic variațiile de volum se consideră neglijabile (se exceptează arderile): $V_0=V_1=V_2=\ldots=V_n=\text{const.}$ în care

Scanned with OKEN Scanner

$V_0, V_1 \ldots V_n$ — sînt volumele metalului înainte, în timpul și după deformarea plastică. În acest fel, dacă admitem un corp geometric cu dimensiunile inițiale: l_0=lungimea; b_0 — lățimea; h_0 — înălțimea și după *DP* corespunzător l_1, b_1 și h_1 se poate scrie:

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 \text{ sau } \frac{h_1 \cdot l_1 \cdot b_1}{h_0 \cdot l_0 \cdot b_0} = 1.$$

Mărimea deformării este caracterizată de deformarea relativă (gradul de deformare) și coeficienții de deformare. Deformarea relativă poate fi: de gradul 1; reducere relativă $\varepsilon_1 = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$; lățire relativă $\varepsilon_2 = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$ și lungire relativă $\varepsilon_3 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ sau de gradul 2;

$$\varepsilon_1' = \frac{\Delta h}{h_1}; \quad \varepsilon_2' = \frac{\Delta b}{b_1}; \quad \varepsilon_3' = \frac{\Delta l}{l_1};$$

La grade mici de deformații indicii de deformații de gradul unu diferă puțin de cei de gradul doi. În practică se utilizează mai mult indicii de gradul unu în calcule. Coeficienții de deformare sînt rapoartele dimensiunilor după și înainte de deformare: coeficient de reducere $\gamma = h_1/h_0$; de lățire $\beta = b_1/b_0$ și lungire $\lambda = l_1/l_0$. Între gradul de deformare și coeficienții de deformare există relațiile: $\varepsilon_1 = 1 - \gamma$; $\varepsilon_2 = \beta - 1$; $\varepsilon_3 = \lambda - 1$.

3.3.2. LEGEA REZISTENȚEI MINIME

În timpul deformării unui corp, particulele acestuia se vor deplasa în direcția în care acestea vor întîmpina rezistența cea mai mică și nu obligatoriu în direcția celor trei axe principale perpendiculare între ele.

3.3.3. LEGEA SIMILITUDINII

În timpul deformării plastice lucrul mecanic consumat *(W)* pentru modificarea formei geometrice a corpurilor asemenea (confecționate din același material și în condiții identice) este proporțional cu volumele sau greutățile *(G)* corpurilor:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{G_1}{G_2} = a^3.$$

În această situație și forțele P necesare deformării plastice sînt proporționale cu secțiunile A a corpurilor asemenea:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{A_1}{A_2} = a^2.$$

Din expunere reiese că, corpuri asemenea sînt corpuri la care V_1/V_2 = cu cubul raportului dimensiunilor liniare și A_1/A_2 = cu pătratul raportului dimensiunilor liniare în care a este raportul dimensiunilor liniare.

Scanned with OKEN Scanner

3.3.4. LEGEA TENSIUNILOR SUPLIMENTARE

La *DP* straturile corpului se deformează inegal cu tendința de a-și modifica dimensiunile în mod diferit. Acestei tendințe i se opune integritatea corpului astfel în afara tensiunilor principale, datorate forțelor exterioare, în corp apar tensiuni suplimentare care se echilibrează reciproc. Tensiunile suplimentare pot fi: de gradul unu (se echilibrează reciproc în porțiuni mari ale corpului); de gradul doi (între grăunți) și de gradul trei (se echilibrează reciproc în interiorul grăuntelui). După îndepărtarea cauzei care a provocat deformarea plastică, tensiunile principale dispar, cele suplimentare rămîn însă în corpul deformat sub forma *tensiunilor remanente*.

3.4. PROCESUL TEHNOLOGIC DE PRELUCRARE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

Orice proces de *DP* cuprinde următoarele operații de bază: debitarea, încălzirea, *DP* propriu-zisă, finisarea (ajustaj), controlul, depozitarea, expediția.

3.4.1. DEBITAREA

Debitarea se face de regulă în depozitul de materii prime (lingouri, semifabricate), care se sortează și controlează înainte de încărcarea în cuptoarele de încălzire. Din stive (înalte de 2,5 m) lingourile se debitează după șutarea maselotei cu ferestraie mecanice, flacără oxigaz sau alt procedeu, la lungimea necesară, care ține cont de pierderile inerente legate de oxidarea materialelor.

Debitarea cu flacără de gaze se face în special pentru piese mari, forjate liber, dar sînt pierderi mari de material și se obțin suprafețe neregulate. Din această cauză se execută adeseori debitarea cu foarfece și are cea mai largă utilizare pentru semifabricatele supuse forjării și matrițării (fig. 3.15). În cazul forfecării, semifabricatul *1* este împins de rolele *2*, între cuțitul inferior fix *3* și superior mobil *4*, este oprit de tamponul mobil *5*, strîns cu fixatorul *6*, după care se execută tăierea la lungimea *l*, și semifabricatul *7* alunecă pe transportorul *8*. Tăierea (fig. 3.16)

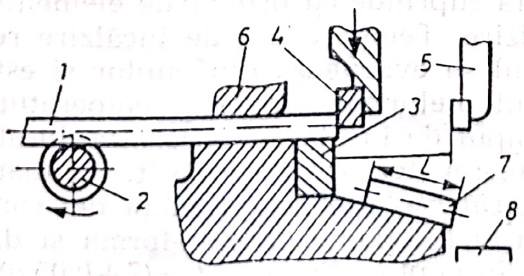


Fig. 3.15. Debitarea la foarfecă.

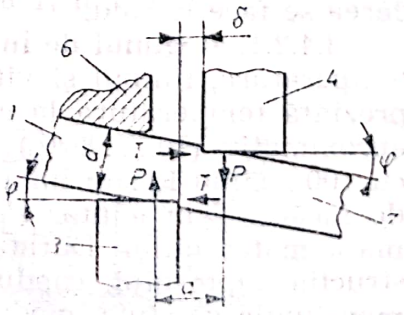


Fig. 3.16. Forțele ce iau naștere la debitarea cu foarfeca.

Scanned with OKEN Scanner

are loc prin deformare elastică și plastică, care deplasează rezultanta forțelor de forfecare P spre exterior. Datorită acestui lucru cît și jocului δ apare un moment M ce tinde să rotească materialul: $M=P\cdot a$, în care a este distanța între rezultanta forțelor de forfecare. Momentul de rotire provoacă apariția forței tangențiale T care tinde să mărească δ, motiv pentru care se montează suporți [$\delta=(0{,}02\ldots0{,}03)d$]. Unghiul de înclinație crește cu creșterea plasticității materialelor.

Forța de forfecare $P=k\cdot\sigma_f\cdot A_0$, în care: k este coeficient care ține seama de forma secțiunii ce se taie ($k=1$ la secțiunile rotunde, $k<1$ pentru secțiuni patrate); σ_f — rezistența de forfecare și aproximativ $\sigma_f=(0{,}6\ldots0{,}9)\sigma_r$. Pentru a reduce valoarea forței P cuțitele se fac înclinate, profilate, materialele se încălzesc. Foarfecele are 9 ... 45 curse/min. și cuțitele se construiesc din Cr. 120, W 15 etc.

Debitarea la ferăstraie circulare sau liniare asigură suprafețe debitate drepte, la abateri dimensionale reduse (0,5 ... 1,5 mm), dar au productivitatea redusă și un cost ridicat. Se utilizează numai la debitări care necesită suprafețe absolut plane, sau dacă în materiale apar fisuri la tăierea prin alte procedee cît și în cazul materialelor neferoase.

În cazul lingourilor, acestea în unele cazuri se supun unei operații de pregătire care constă în îndepărtarea defectelor de suprafață sau această operație se poate executa pe semifabricate. Operația se execută însă pe lingou sau semifabricate reci, ceea ce duce la o pierdere de căldură, dar se obțin calități superioare ale suprafețelor. Se aplică de regulă oțelurilor de calitate și superioare. Lingourile din celelalte oțeluri se transportă, după stripare, cu lingotiera pe ele direct la cuptoarele de încălzire (cuptoare adînci). Curățirea lingourilor se execută cu dălți pneumatice sau prin cojire pe strunguri speciale, operație prin care se pierde 5 ... 10% din material.

Curățirea semifabricatelor, în cazul oțelului carbon obișnuit, este mai economică întrucît se pierde numai 1% din material și se face economie de combustibil. Defectele se îndepărtează local sau total cu ajutorul dălților pneumatice, polizoare, prin rabotare cu flacără de gaze etc. Toate lingourile destinate forjării se mențin după turnare timp de 3 zile pentru eliminarea tensiunilor termice ce apar la răcire.

3.4.2. ÎNCĂLZIREA

Încălzirea se face în subsecția de cuptoare, în cazul laminării, sau în ateliere, în cazul forjării. Prin încălzire crescînd plasticitatea și reducîndu-se rezistența la deformare, laminarea, forjarea, matrițarea și extrudarea se face la cald.

3.4.2.1. **Regimul de încălzire.** Acesta cuprinde ca principale elemente: temperatura, timpul și viteza de încălzire. Temperatura de încălzire reprezintă temperatura la care materialul se evacuează din cuptor și este aproximativ (70 ... 80%) T_{crist} (în cazul oțelurilor se alege temperatura cu 100 ... 150 K sub linia solidus). Timpul de încălzire reprezintă durata de încărcare în cuptor și pînă la atingerea temperaturii dorite în toată masa materialului. Durata totală de încălzire este condiționată de: construcția cuptorului, conductivitatea termică a materialului, forma și dimensiunile acestuia, modul de așezare în cuptor. Empiric $t_t=(7+0{,}05\,g)g$ minute pentru lingouri și semifabricate încălzite în cuptoare cu regim continuu, în care g este grosimea semifabricatului. Se mai poate deter-

Scanned with OKEN Scanner

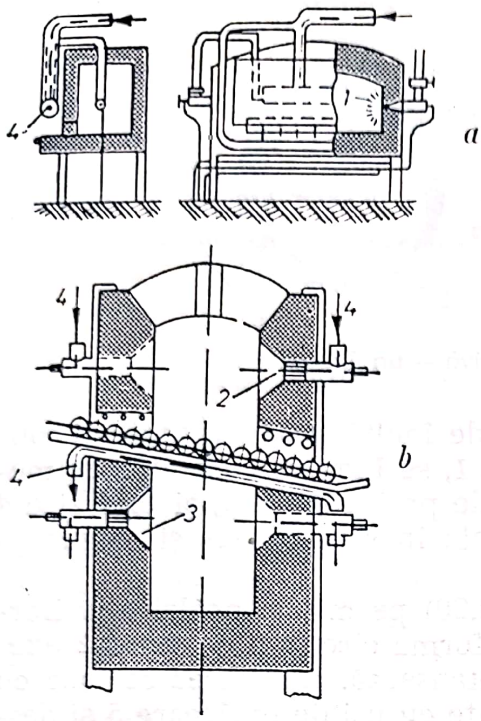
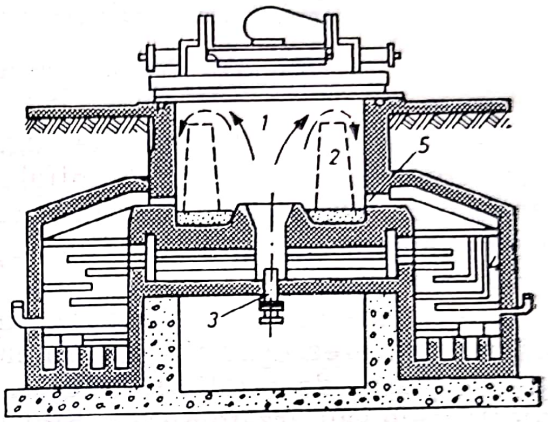


Fig. 3.17. Cuptor tip cameră:
a – obișnuit; b – pentru încălzire rapidă.

Fig. 3.18. Cuptor adînc cu recuperator și injector central.



mina $t_t = C \cdot D$, în care: C este un coeficient cu valori 6 ... 9 pentru oțelul carbon și slab aliat, 9 ... 12 pentru oțeluri mediu aliate și 12 ... 18 pentru oțeluri bogat aliate și speciale; D — latura sau diametrul lingoului, în cm. În cazul cuptoarelor tip cameră: $t = k \cdot g \sqrt{g}$ [h], unde k este un coeficient cu valoarea 10 pentru oțeluri carbon sărace în C și 20 pentru oțeluri înalt aliate. Viteza de încălzire se numește variația în unitatea de timp a temperaturii metalului în K/h și depinde de: natura materialului, conductivitatea termică, dimensiunile pieselor etc. Pentru materiale cu conductivitatea termică redusă, viteza de încălzire este mică (50 ... 70 K/h) pentru a nu fisura sau crăpa materialul din cauza tensiunilor interne. Viteza de încălzire scade cu creșterea grosimii pereților și gradul de complexitate al piesei.

3.4.2.2. **Agregatele de încălzire.** Cele care au o mai largă răspîndire sînt:

— cuptoarele cu flacără tip cameră (fig. 3.17), la care arzătoarele sau injectoarele *1, 2* și *3* se găsesc deasupra sau sub semifabricate. Folosesc combustibil superior și aer preîncălzit *4;*

— cuptoarele adînci (fig. 3.18) folosite pentru încălzirea rapidă a lingourilor mari de oțel *2*, compuse din camera *1*, injectorul sau arzătorul *3*, recuperatoarele *4;*

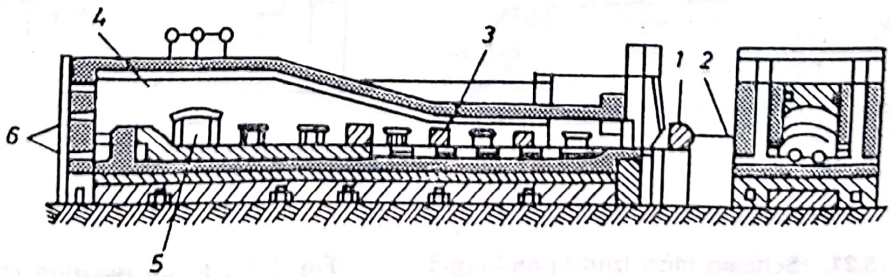


Fig. 3.19. Cuptor cu propulsie.

Scanned with OKEN Scanner

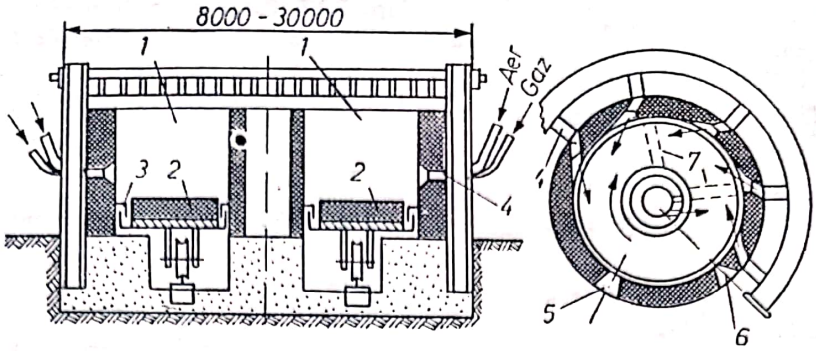


Fig. 3.20. Cuptoare cu vatră rotativă – tip Carussel.

— cuptoarele cu propulsie (fig. 3.19) de înaltă productivitate și consum redus de combustibil. Semifabricatele *1*, se încarcă continuu cu mecanisme cu propulsie *2*, trec prin camera de preîncălzire *3*, și încălzire *4* și se avansează prin ușa *5*. Gazele *6* circulă în sens invers și asigură o încălzire treptată;

— cuptoarele cu vatră rotativă (fig. 3.20) permit o încălzire uniformă, mecanizarea operațiilor. Cuptorul are forma circulară *1;* vatra *2* execută mișcarea de rotație și trecerea *3* se etanșează. Încălzirea se face cu injectoarele sau arzătoarele *4*. Sînt prevăzute cu uși de încărcare *5* și descărcare *6*. Cuptorul are 3 zone de încălzire delimitate prin pereții suspendați 7.

Cuptoarele cu flacără au durată lungă de încălzire, oxidare avansată (țunder) a semifabricatelor, randament scăzut ($\eta_t = Q_{util}/Q_{total} = 12 \ldots 40\%$), reglare greoaie a temperaturii, condiții grele de muncă (necesită spații mari), consumă combustibili deficitari etc. Pentru reducerea oxidabilității se lucrează cu atmosfere controlate de exemplu neoxidantă cînd $CO/CO_2 > 3$ și $H_2 > 1{,}35$ etc.

3.4.2.3. **Încălzirea electrică.** Se face în vederea eliminării neajunsurilor cuptoarelor cu flacără și se execută în cuptoare cu rezistență (aliaje neferoase) avînd ca elemente încălzitoare materiale metalice sau bare de silită (temp. peste 1 600 K). Des utilizată este încălzirea prin inducție (fig. 3.21) cu ajutorul inductorului *1* (CIF cu 500 ... 8 000 Hz pentru d ∅ < 150 mm sau cea industrială pentru d ∅ > 150 mm.), prin care trece materialul *2*, împins de instalația *3*. Frecvența se poate determina cu relația $f = 3 \cdot 10^4/d^2$, în care d este diametrul semifabricatului, în cm. Materialele lungi *1*, joacă rol de rezistență și se încălzesc prin contact

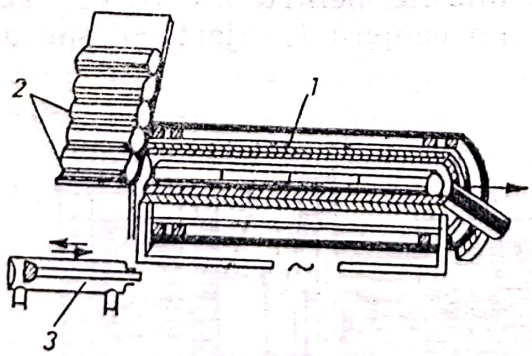


Fig. 3.21. Schema încălzirii prin inducție.

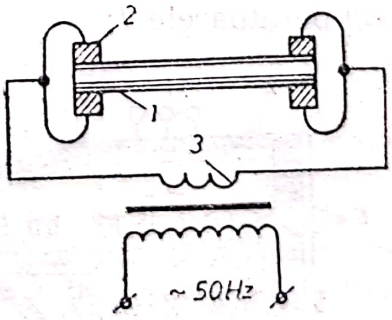


Fig. 3.22. Încălzirea prin contact.

(fig. 3.22), între contactele 2 (din CuP) prin care trece un curent cu 6 ... 15 V și înaltă intensitate de la transformatorul 3. Consumul de energie electrică este mai mic, (1,08 ... 1,14) 10^6 J/kg oțel, față de încălzirea prin inducție (1,44 ... 1,8)·10^6 J/kg, investițiile sînt mai reduse, dar capetele semifabricatelor sînt reci. Ambele metode au viteze mari de încălzire (se admite supraîncălzirea) grăunții de austenită nu au timp să crească, arderile sînt de 0,5%, nu au loc decarburări, permit automatizări ușoare, crește gradul de cultură al prelucrării prin *DP* etc.

3.5. DEFORMAREA PLASTICĂ PRIN LAMINARE

Laminarea (fig. 3.23) este procedeul de prelucrare prin *DP* (peste 75% din oțelul elaborat) datorată presiunii exercitate de 2 cilindrii de laminare *1* care se rotesc și antrenează între ei materialul *2* supus laminării. Dimensiunile materialului se reduc în direcția forței de presare *P* și se măresc în celelalte două (lățire) și în special în direcția de înaintare (lungime). Prin laminare se urmărește: modificarea formei materialului inițial — *a*, în profile dorite — *b* și schimbarea structurii grosolane de turnare într-o structură fină. Laminarea are loc la un laminor în care utilajul care deformează materialul se numește *utilaj de bază*, iar linia după care se amplasează acest utilaj se numește linia de laminare principală. Celelalte utilaje (încălzire, ajustare, transport) se numesc *auxiliare*.

Linia principală de laminare (fig. 3.24) are trei instalații: motor de antrenare — *a*, caje de lucru — *b*, și mecanism de transmisie — *c* plasate între motor și cilindrii laminorului. Motorul principal de acționare *1* imprimă cilindrilor de laminare mișcarea de rotație, sînt cu curent alternativ (dacă nu se reglează viteza de laminare) și poate fi: sincron cînd funcționează fără volant și asincron cînd funcționează cu volant.

Caja de lucru este compusă din cilindrii de laminare *2*, lagărele și portlagărele *3*, două rame metalice masive *4* (numite cadre), mecanismul de reglare a distanței (poziționare) cilindrilor *5*, plăcile de bază *6* (în formă de traverse) care fixează cadrele pe fundația 7. La cajele duo,

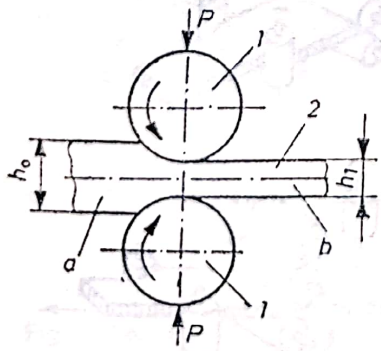


Fig. 3.23. Schema laminării.

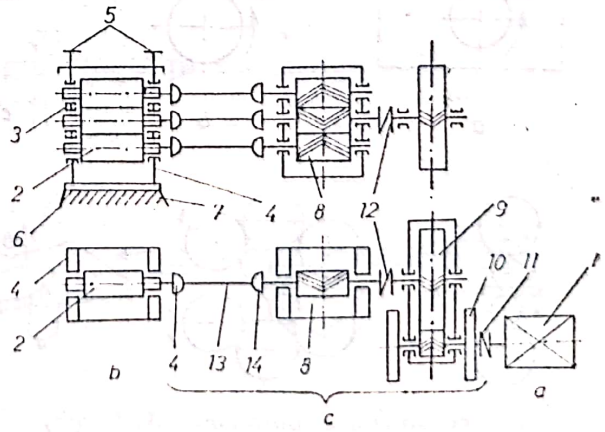


Fig. 3.24. Linia principală de laminare a unui laminor degrosisor trio.

cvarto și dublu duo distanța dintre cilindrii se modifică prin deplasarea cilindrului superior, iar la cajele cu cilindrii verticali ambii cilindrii.

Mecanismele de transmisie (transmitere) ale liniei principale depind de tipul laminorului și de regimul de funcționare. Pentru majoritatea laminoarelor, aceste mecanisme se compun din: caja de antrenare *8* (prevăzută cu cilindrii dințați, egal cu numărul cilindrilor de laminor) reductor *9*, uneori volant *10*, (acumulator de energie pentru compensarea sarcinii motorului la mersul în gol) și cuplajele motorului *11*, cuplajul principal *12* și bazele de cuplare *13* cu manșoane de legătură (mufe) *14*, sau bare universale cu articulații sferice. Laminoarele reversibile și cele la care durata de trecere a metalului între cilindrii este mare nu sînt prevăzute cu volanți. La laminarea cu viteză mare, cît și la laminoarele reversibile nu se prevăd reductoare și cuplaje.

Laminoarele se clasifică după așezarea cilindrilor în cajă (orizontal, vertical, combinat, oblic etc.). Cele mai răspîndite sînt cajele cu cilindrii orizontali care pot fi dispuși (fig. 3.25):

a — *laminoare duo* pentru profiluri grele, mijlocii și table groase;

b — *laminoare trio* degrosisoare pentru tablă, profiluri din lingouri mici în greutate de 1 500 kg. Cilindrul mijlociu este în general neacționat (Lauth) și de diametru mai mic;

c — *laminoare dublu duo* pentru profiluri ușoare și mijlocii laminate din oțeluri de calitate;

d — *laminoare cvarto* pentru laminarea la cald și la rece a tablelor, platbandelor și benzilor, la care cilindrii de lucru din mijloc sînt acționați, iar cei din margine servesc de sprijin întrucît micșorează săgeata de încovoiere și se rotesc datorită frecării reciproce;

e — *laminoare policilindrice* (6; 12; 20 cilindrii) utilizate pentru laminarea la rece a tablelor și benzilor (se antrenează numai cilindrii de lucru). Laminoarele cu caje prevăzute cu cilindrii verticali pentru profiluri, sau îndreptarea muchiilor la tablele groase și benzilor late pot fi:

f — *cu cilindrii verticali*, pentru laminarea laterală;

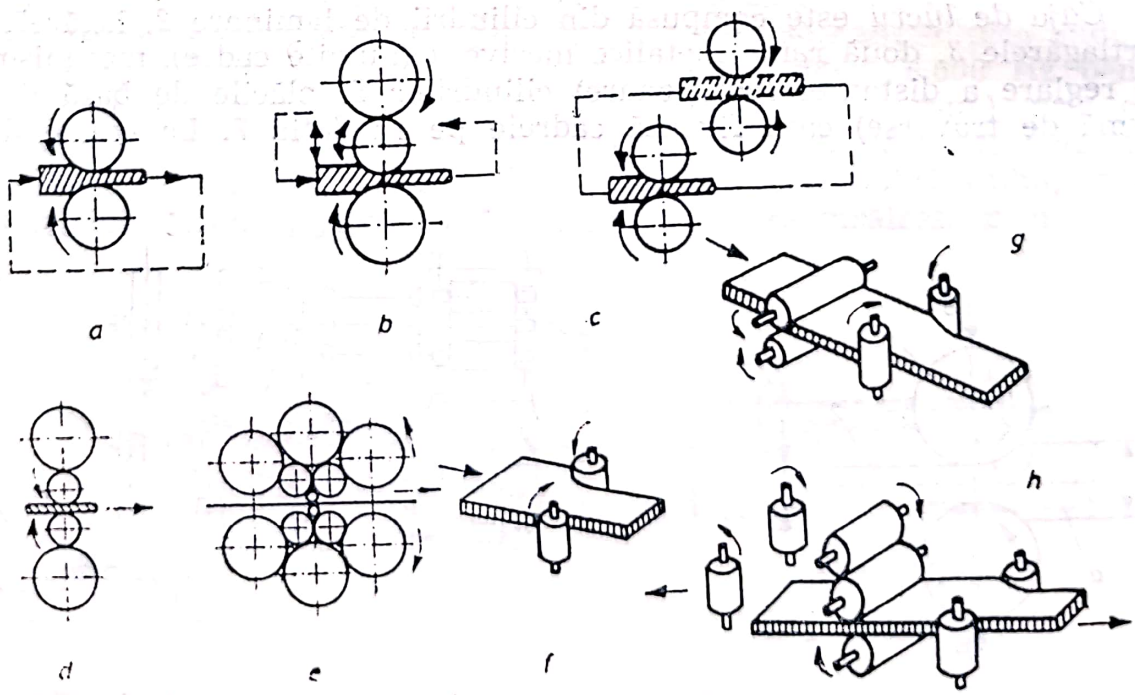


Fig. 3.25. Schema montării cilindrilor în caje.

Scanned with OKEN Scanner

g — *duo universale* (cu o pereche de cilindri verticali), pentru brame și platbande;

h — *trio universale* (cu două perechi de cilindri verticali) pentru platbande;

i — *laminoarele cu cilindrii înclinați,* utilizate pentru laminarea țevilor (perforare, netezire), care imprimă laminatului o mișcare elicoidală.

3.5.1. LAMINAREA UNOR PROFILE CARACTERISTICE

3.5.1.1. **Laminarea țevilor.** Se poate face prin procedeul Mannesmann, care constă în realizarea unei eboșe din materiale (lingouri rotunde, rar bare) cu grosimi mai mari ale pereților și apoi se prelucrează în țevi pe laminoare în „pas de pelerin". Eboșa se realizează cu cilindrii triplutronconici (fig. 3.26) care au con de intrare, partea activă de laminare transversală și cea de netezire. Laminorul perforator are doi cilindrii de lucru, care se rotesc în același sens și dispuși la 4 . . . 7° față de axa laminatului — *a*, *b*, *c*. Eboșa se prelucrează prin întindere la laminoare în pas de pelerin (fig. 3.27) și după fiecare întindere *a* . . . *d* materialul se rotește cu 90° și revine la poziția *a*. La laminare se respectă:

$$D_l=(1{,}02\ldots1{,}05)\,D_{e.eb};\quad \frac{D_{e.eb}}{D_{i.eb}}=1{,}4—1{,}5;\quad \frac{D_{i.eb}}{D_{it}}=1{,}05—1{,}08$$

în care: $D_{l,\ De.eb,\ Di.eb,\ Dit}$ — sînt diametrele medii ale lingoului, eboșei și al țevii. De regulă se fabrică țevi cu $D_{it}=40\ldots600$ mm și lungimi pînă la 30 m.

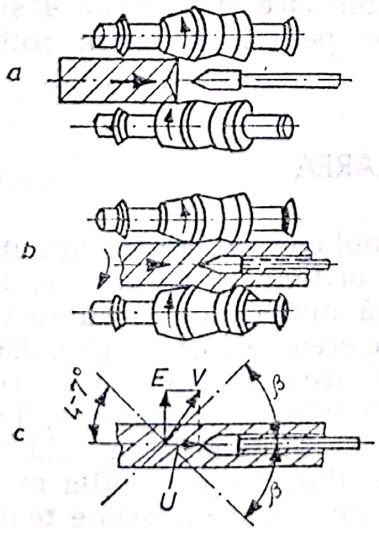


Fig. 3.26. Laminarea transversală — Mannesmann:
a — prinderea semifabricatului; b — perforarea; c — vedere de sus.

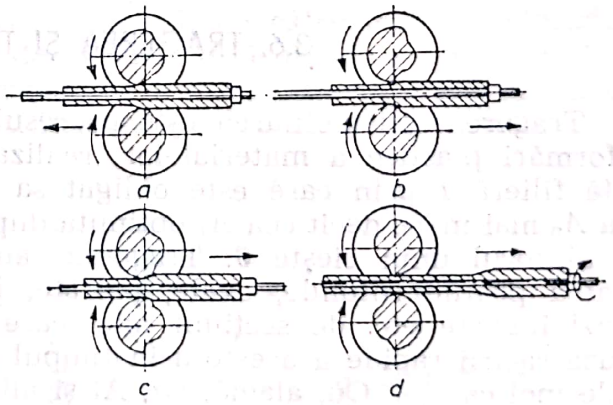


Fig. 3.27. Laminarea în pas de pelerin.

Scanned with OKEN Scanner

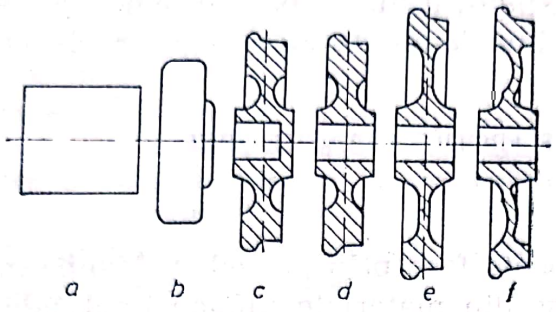


Fig. 3.28. Fabricarea roților monobloc prin matrițare, laminare și ambutisare:
a – calup; **b** – prerefulare; **c** – presare și pregăurire; **d** – găurire; **e** – laminare; **f** – ambutisare.

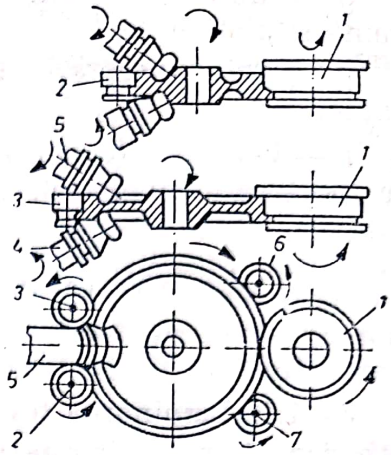


Fig. 3.29. Laminarea roților monobloc:
a – prelucrarea inimii lîngă butuc; **b** – prelucrarea lîngă obadă; **c** – vedere de sus.

Cinetica laminării elicoidale a țevilor în cazul cilindrilor conici așezați oblic cu unghiul β, vor avea o mișcare de avans u și de rotație ω (dacă nu alunecă pe cilindrul de laminor). Astfel $\omega = u \cos \beta$ și $u = v \sin \beta$, în care v este viteza tangențială a cilindrilor. Se mai poate determina $\omega = \pi n/60 \cdot D_x \cos \beta$ și $u = \pi n/60 \; D_x \sin \beta$, în care D_x este diametrul cilindrului în secțiunea studiată $x—x$.

3.5.1.2. **Laminarea roților monobloc.** Aceasta caută să înlocuiască procedeul disc-bandaj, datorită creșterii siguranței în exploatare, în urma creșterii vitezei de circulație pe calea ferată, cît și economicității în fabricație. Roțile monobloc se execută din lingouri sau calupuri încălzite la 1500 K și se matrițează pe prese pînă la o formă geometrică apropiată de cea finală (fig. 3.28). După matrițare are loc laminarea (fig. 3.29) cu ajutorul cilindrilor care prelucrează suprafața de lucru a roții *1*, *2* și *3* și a cilindrilor care prelucrează suprafețele interioare și frontală *4* și *5*. În timpul procesului, cilindrii *6* și *7* servesc pentru ghidarea roților monobloc.

3.6. TRAGEREA ȘI TREFILAREA

Tragerea sau trefilarea este procesul tehnologic de prelucrare prin deformări plastice a materialelor, realizat în orificiul unei unelte, numită filieră *1* prin care este obligat să treacă materialul *2*, cu secțiunea A_0 mai mare decît cea A_1 obținută după tragerea cu forța T (fig. 3.30), cu ajutorul unui clește *3*. Tragerea sau trefilarea se execută la rece pentru profile rotunde, ovale, patrate, hexagonale, triunghiulare, țevi, benzi înguste etc. de secțiuni mici care nu se pot lamina la cald din cauza răcirii rapide a acestora în timpul procesului. Se pot trefila materiale moi ca oțel, Cu, alamă, Bz, Al și aliajele lui, cît și materiale tenace și în cazuri rare chiar oțeluri dure sau alte materiale.

Convențional procesul tehnologic de tragere a secțiunilor cu ∅ sub 6 mm se numește *trefilare*, iar a secțiunilor cu peste 6 mm *tragere*. În cazul tragerii lungimea profilelor, numite bare, este limitată, iar la tre-

Scanned with OKEN Scanner

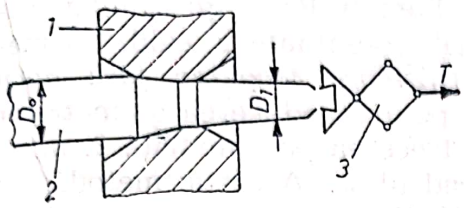


Fig. 3.30. Schema tragerii şi trefilării.

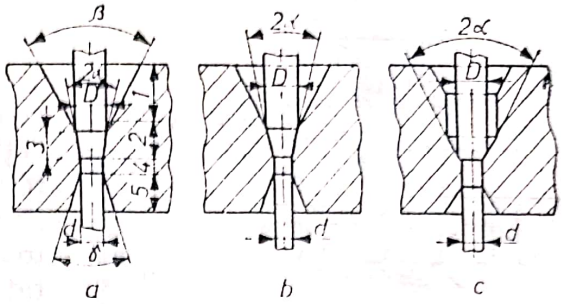


Fig. 3.31. Tipuri de filiere:
a — con; b — trompetă; c — clopot; α, β, γ, — unghiuri de intrare, de înclinaţie şi de ieşire.

filare lungimile sînt practic nelimitate. Sculele pentru trefilare se numesc filiere, iar pentru tragere, matriţe.

Filierele şi matriţele (fig. 3.31) se confecţionează din oţeluri de calitate superioară, dure şi rezistente, metale dure, diamant (orificii mici). Pentru economie de material filierele se montează în portfiliere confecţionate din oţel carbon obişnuit. După uzare filierele se recondiţionează pentru o secţiune imediat superioară.

Dintre filierele din figura 3.30, pentru trefilarea sîrmei de oţel se foloseşte mai ales filiera con la care distingem conurile de: ungere *1*, trefilare *2*, trefilare activ *3* şi ieşire *5*, cît şi calibrul *4*. Filierele au obişnuit $\alpha=4\ldots6°$, $\beta<90°$, $\gamma\cong60°$, iar la matriţe $\alpha=14\ldots16°$.

3.6.1. UTILAJUL PRINCIPAL AL TREFILĂRIILOR DE SÎRMĂ

Utilajul principal al trefilăriilor de sîrmă îl constituie maşinile de trefilat, care se clasifică funcţie de diametrul sîrmelor în: maşini de trefilat sîrmă *groasă* cu ∅ peste 6 mm; *mijlocie* cu ∅ 6 . . . 1,6 mm; *subţire* 1,6 . . . 0,7 mm şi *foarte subţire* sub 0,7 mm. Din punct de vedere constructiv maşinile de trefilat se clasifică în maşini de trefilat: *singulare* (cu o singură trecere); *multiple* (cu mai multe treceri simultane).

Maşina de trefilat singulară (fig. 3.32) este compusă din corpul maşinii pe care se montează vîrtelniţa *1* (desfăşurarea) portfiliera *2*, cu filiera *3*. Rotirea tobei *4*, prin reductorul *5*, de către motorul electric *6*, întinde sîrma *7* şi colacul *8* se desfăşoară, înfăşurîndu-se pe toba *4* sub formă de colac *9*. Se disting maşini de trefilat cu tobe verticale şi orizontale. Maşinile singulare se utilizează pentru sîrme groase.

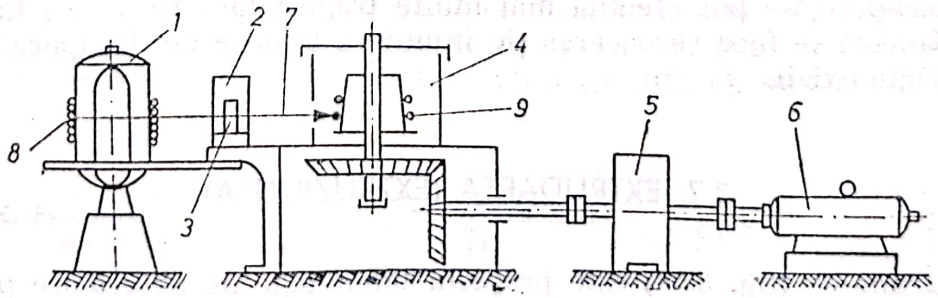


Fig. 3.32. Maşină de trefilat singulară.

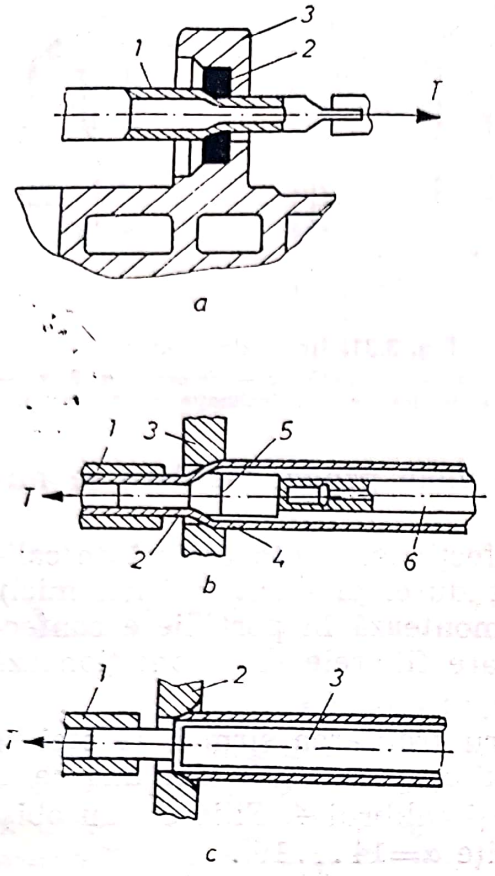


Fig. 3.33. Tragerea:
a — fără dorn; **b** — pe dorn scurt; **c** — pe dorn lung.

Tragerea țevilor se face cu scopul reducerii diametrelor și grosimilor pereților țevilor laminate la cald. Ca metode se utilizează: *tragerea fără dorn* (fig. 3.33) pentru reducerea diametrelor țevilor la trecerea prin matriță *2*, montată în cadrul *3*. Această metodă, în condiții dificile, poate asigura grosimea pereților și diametre interioare exacte — *a; tragerea* pe *dorn scurt* (dop) la reducerea concomitentă a diametrelor și grosimilor pereților țevilor — *b*. La tragere, cu cleștele *1* (tragerea pe dorn scurt), de vîrful ascuțiți *2*, prin matrița de tragere *3*, țeava îmbracă dornul (în poziția de tragere *4* și cea inițială *5*) și tija portdorn *6*. Vîrfuirea se execută la cald sau se introduce forțat cu ajutorul dispozitivelor (țevi mici și dop flotant); *tragerea pe dorn lung șlefuit* — *c* se execută pentru reducerea grosimii pereților țevii cu ajutorul cleștelui *1*, inelului de tragere *2* și dornului *3*, care trece împreună cu țeava prin matriță. Pentru extragerea dornului țeava se trece apoi la un laminor — lărgitor. Avantajele acestei metode constă în: reducerea mare de secțiune (se evită frecarea dorn-suprafața interioară a țevii); aplicarea forței de tragere pe dorn; evitarea zgîrieturilor interioare. Ca dezavantaje se pot semnala: scule mai scumpe, dimensiuni inexacte a țevilor din cauza lărgirii ulterioare. Metoda se înlocuiește de regulă cu cea pe dorn scurt.

Bancurile de tras moderne permit trageri la lungimi peste 40 m (țevile mici se înfășoară pe tobe de tras), sînt mecanizate, automatizate și multifilare.

Reducerile de secțiune ating 50% pe dorn scurt, iar pe dorn lung 60 . . . 70%. Diametrele interioare ale eboșei sînt cu cîțiva mm mai mari ca al țevilor finite (pentru a putea îmbrăca dornurile). Ecruisarea se elimină prin recoacere după fiecare tragere. Dacă se fosfatează suprafețele, după decapare, se pot efectua mai multe trageri fără recoaceri intermediare. Uneori se face recoacerea de înmuiere înainte de decapare pentru a îndepărta oxizii.

3.7. EXTRUDAREA (EXTRUZIUNEA)

Extrudarea (fig. 3.34) este procesul tehnologic de deformare plastică treptată, datorită curgerii forțate, sub influența forței *P*, a materialului printr-un orificiu de formă dorită. Fabricarea produselor prin extrudare

Scanned with OKEN Scanner

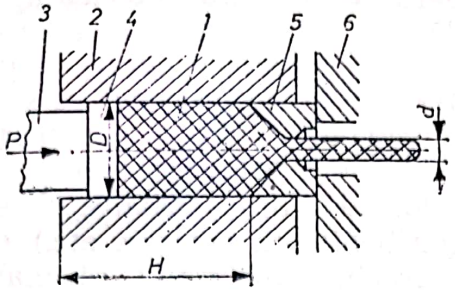


Fig. 3.34. Schema de extrudare.

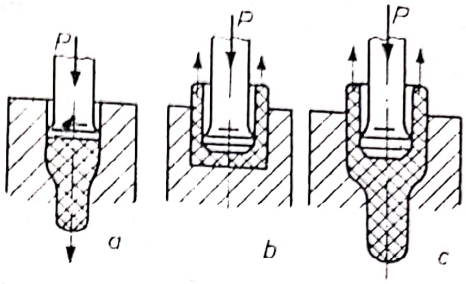


Fig. 3.35. Extrudarea:
a – directă; b – indirectă; c – mixtă.

constă din introducerea semifabricatului *1*, în containerul *2* și prin apăsare cu forța *P* asupra poansonului *3*, prin intermediul presșaibei *4*, materialul este forțat să treacă prin orificiul matriței *5*, fixată în suportul *6*. Procedeul este cunoscut din 1797 cînd s-a aplicat pentru fabricarea tuburilor de Pb, apoi pentru fabricarea cartușelor — 1886. Extrudarea se poate face la cald și la rece și se aplică numai în cazurile cînd nu se pot obține profile prin alte procedee de deformări plastice, sau cînd este mai economică. Extrudarea se aplică și în cazul materialelor care nu posedă plasticitate suficientă după turnare și se execută ca deformare plastică. S-a constatat că gradul de deformare prin extrudare este rentabil pînă la $\delta=4$, în cazul oțelurilor feritice, după care este rentabil a se deforma prin alte procedee. Materialele neferoase, care nu se mai prelucrează prin deformare plastică ulterioară vor avea un δ peste 10.

După modul (sensul) extrudării materialului distingem extrudare: directă, la care sensul de curgere al materialului coincide cu direcția și sensul de înaintare al poansonului; indirectă cînd sensul de curgere al materialului este opus sensului de înaintare al poansonului și combinată cînd materialul extrudat se deplasează în ambele sensuri (fig. 3.35).

Extrudarea directă se utilizează pentru profile pline sau în cazul deformărilor prealabile a unor materiale cu plasticitate redusă, iar extrudarea indirectă pentru profile tubulare. Prin extrudare se pot obține profile cu secțiune uniformă sau variabilă (fig. 3.36), fie prin micșorarea diametrului exterior (extrudare indirectă), folosind conteinerul *1*, poansonul *2* și semifabricatul *3*, fie prin mărirea diametrului interior (extrudare directă) folosind dornul presșaibei *1*, matrița *2*, conteinerul *3* și poansonul *4* (*b*).

Prin extrudare se pot obține nervuri interioare (fig. 3.37), cînd semifabricatul *1* este forțat să curgă prin matrița 2 și să preia forma dornului *3*. Dacă dornul este în poziția *a*, se va obține tubul *4*, cu perete subțire. Dacă dornul se retrage (poziția *b*) se va extruda cu perete gros *5*. Dacă lungimea peretelui gros este redusă (poziția *c*), materialul poate fi

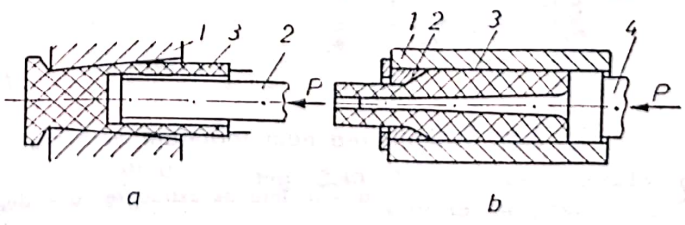


Fig. 3.36. Extrudarea cu secțiune variabilă:
a – indirect; b – direct.

Scanned with OKEN Scanner

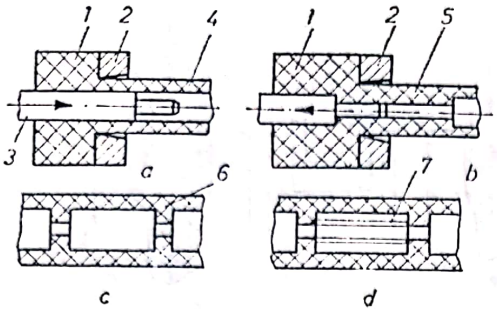


Fig. 3.37. Extrudarea profilurilor tubulare cu nervuri interioare.

considerat o nervură interioară transversală *6*. Dacă în porțiunea groasă a dornului se execută caneluri longitudinale poziția *d*, după extrudare se obțin nervuri longitudinale 7 (în porțiunea dintre nervurile transversale).

Folosind multe variante de extrudare (cu lichid, cu explozie etc.), extrudarea prezintă avantajul că matrițele se pot schimba repede, avantaj ce crește cu reducerea numărului de profile (nerentabile prin laminare). În acest caz, profilele rotunde cu Ø330 ... 300 mm, țevi cu Ø 330 ... 300 mm și țevi cu Ø 20 ... 400 mm cu grosimi de perete de la 1 ... 12 mm, sînt mai rentabile să se producă prin extrudare. Extrudarea prezintă dezavantaje ca: uzură mare a matrițelor și în comparație cu laminarea, o pronunțată neuniformitate a deformațiilor. Din această cauză matrițele se ung cu lubrifianți, se construiesc cu geometrii corespunzătoare și se alege un regim optim de extrudare.

3.7.1. EXTRUDAREA LA CALD

Extrudarea la cald are loc cu neuniformitate a deformației materialelor, neuniformitate care influențează calitatea produselor și forțele de extrudare. Odată cu reducerea neuniformității deformării crește calitatea produselor extrudate și scad forțele de extrudare. Neuniformitatea scade cu reducerea valorii forțelor de frecare exterioare, cu diferența de temperatură material-sculă (lubrifiantul trebuie să fie și un bun izolator) și creșterea calității suprafețelor de lucru a sculelor.

Neuniformitatea deformației se poate pune în evidență cu ajutorul rețelelor trasate înainte de extrudare — *a*, și după aspectul acestei rețele, obținute după extrudare — *b*, (fig. 3.38). Se observă că deformarea este neuniformă atît în direcția longitudinală cît și transversală. În zona axială materialul curge în avans, iar la început este practic nedeformată rețeaua datorită reținerii provocată de forțele de frecare exterioare și se deformează numai zona centrală. Zona centrală trage după sine pe cea exterioară pînă la stabilizarea procesului. În partea de jos a epruvetei se remarcă o curgere mai greoaie a materialului. Pe baza deformării rețelei

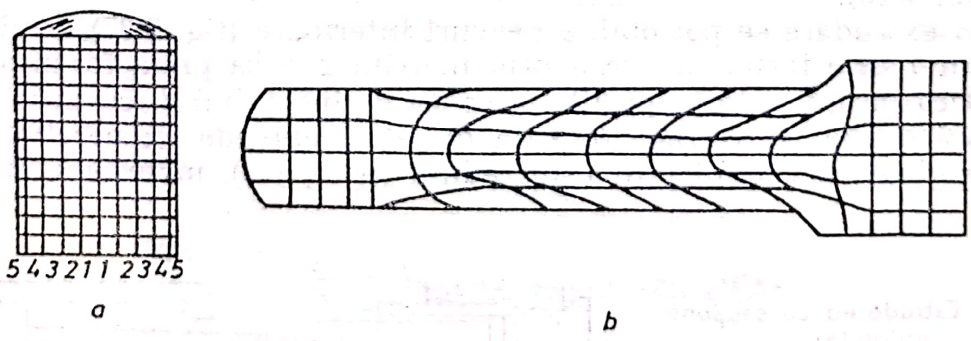


Fig. 3.38. Evidențierea neuniformității deformației cu ajutorul rețelei rectangulare:
a — înainte de extrudare; b — după extrudare.

Scanned with OKEN Scanner

rectangulare se pot stabili, viteza și direcția de curgere a particulelor de material, precum și tensiunile corespunzătoare. Pentru a obține proprietăți uniforme, neuniformitatea deformației trebuie redusă la minimum în timpul procesului de extrudare.

3.7.1.1. **Extrudarea profilelor.** Se face funcție de simetria acestora și pot fi: profile rotunde și arotunde. Profilele arotunde se extrudează prin metoda directă și apar tensiuni și deformații suplimentare, care pot duce la ruperi sau suprapuneri de material. Aceste profile prezintă grade mari de neuniformitate a deformației și a vitezelor de curgere. Aceste neuniformități se pot reduce prin extrudarea din semifabricate care au secțiuni apropiate de secțiunile produselor cît și prin reducerea asimetriei față de axa longitudinală. Centrul de greutate al profilului orificiului se dezaxează față de centrul matriței, lucrul ce se determină experimental. Dezaxarea se face cu scopul uniformizării curgerii materialului (fig. 3.39) știut fiind că, curgerea este mai intensă în porițunea cu mai mult material și în acest caz se evită curbarea materialului — *b* sau chiar ruperea acestuia — *c*. Plasarea orificiului în stînga axului — y —y, duce la scăderea volumului de material ce alimentează curgerea în stînga acestei axe, în raport cu secțiunea orificiului, unde viteza de curgere va scădea. Pentru a uniformiza viteza de curgere a profilelor asimetrice, pe lîngă dezaxare, se recurge și la execuția orificiilor cu valori diferite ale înălțimii de profilare (fig. 3.40). Reducerea centurii de profilare $h_2 < h_1$ în porțiunea nervurilor subțiri (perimetrul specific mare), duce la micșorarea presiunii hidrostatice în porțiunea respectivă și deci la uniformizarea vitezei de curgere a materialului.

Uniformizarea curgerii materialului se poate face și prin construcția înclinată a matriței în planul de contact cu semifabricatul (fig. 3.41) cu unghiul γ cînd forța de extrudare se descompune în componentele verticală și orizontală. Componenta orizontală uniformizează viteza de curgere, forțînd trecerea prin canalurile nervurilor subțiri.

Viteza de curgere se poate uniformiza prin extrudarea simultană (fig. 3.42) sau cu orificii suplimentare (fig. 3.43).

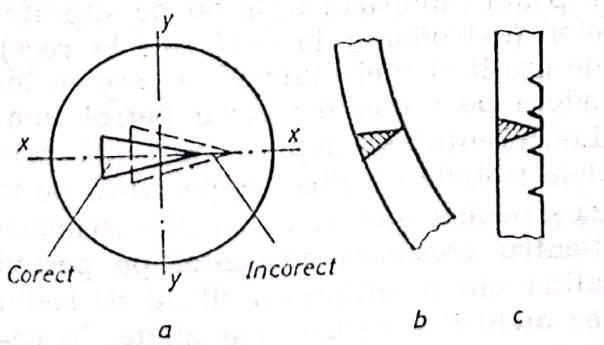


Fig. 3.39. Amplasarea orificiilor în matriță la extrudarea profilelor arotunde.

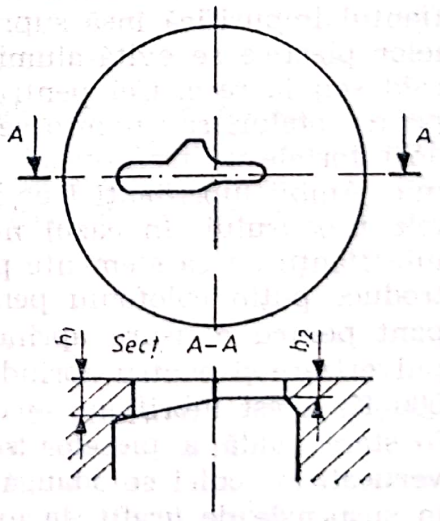


Fig. 3.40. Amplasarea orificiilor cu diferite înălțimi.

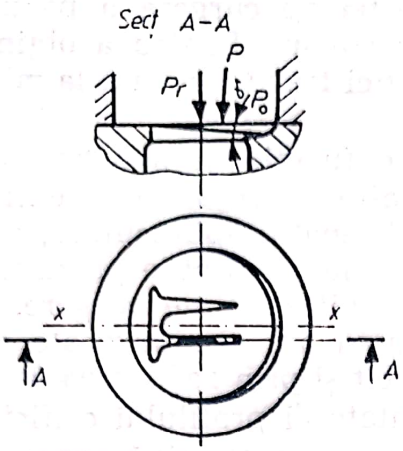


Fig. 3.41. Înclinarea suprafeței matriței.

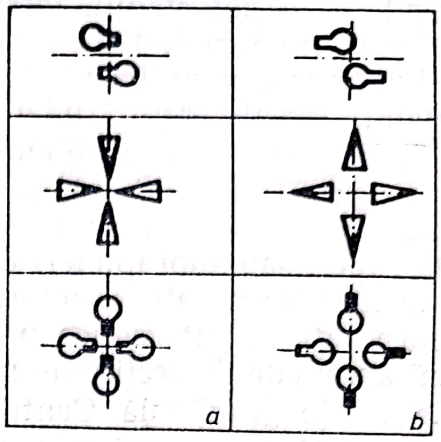


Fig. 3.42. Extrudarea simultană: a – corect; b – greșit.

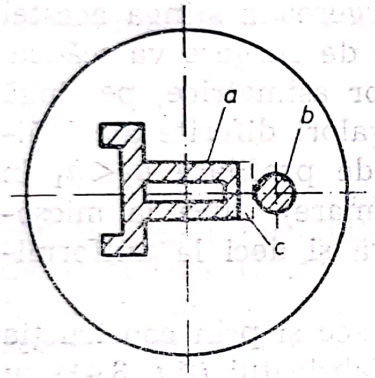


Fig. 3.43. Extrudarea simultană cu: a – profil asimetric; b – profil suplimentar; c – adaos tehnologic.

La extrudarea simultană a mai multor profile, acestea se plasează ca în poziția a, și se realizează din același semifabricat. Dacă nu se poate recurge la extrudare simultană de profile, atunci se practică sistemul cu un orificiu suplimentar, care poate fi chiar parazitar. Dacă nu rentează plasarea orificiului suplimentar sau parazitar atunci se pot prevedea adaosuri tehnologice — *c*. Folosirea mai multor orificii impune utilizarea matrițelor cu unghiuri $\alpha \cong 180°$.

3.7.1.2. *Lubrifiantul și metodele de ungere.* Lubrifiantul utilizat influențează direct valoarea forțelor de frecare exterioară, indiferent de metoda și condițiile de extrudare și permite reducerea forței de extrudare și a uzurii sculelor cît și a extrudării totale a semifabricatului. Unii lubrifianți reduc viteza de răcire a stratului exterior a semifabricatului. Lubrifiantul impurifică însă suprafețele exterioare, iar la extrudarea materialelor plastice se evită-aluminiu. Lubrifianții pot fi pentru extrudarea la cald sau la rece. Cei pentru extrudarea la cald se împart în lubrifianți pentru oțeluri sau neferoase. Cei pentru neferoase au scopul de a reduce doar forțele de frecare, iar cei pentru oțeluri suplimentar să izoleze termic. Ambii lubrifianți trebuie să se poată îndepărta ușor de pe suprafețele produsului. În cazul neferoaselor (extrudarea la cald sau la rece), lubrifianții au ca elemente principale grafit și ulei mineral în care se introduce puțin colofoniu pentru a adera pe scule, iar iarna petrol lampant pentru a ușura aprinderea. Lubrifiantul se depune pe sculă prin pulverizare și pentru aprindere sculele trebuie să aibă temperatura peste 500 K. Acest lubrifiant se utilizează și pentru oțeluri în cazul extrudării în stare caldă a pieselor scurte. Pentru creșterea aderenței pe pereții verticali ai sculei se adaugă și parafină sau se utilizează silicat de sodiu în suspensie de grafit, la extrudarea oțelurilor carbon sau aliate. În cazul extrudării lingourilor și semifabricatelor mari la cald (sau piese mici din oțeluri mediu și bogat aliate) se utilizează ca lubrifiant sticla.

Scanned with OKEN Scanner

3.7.2. EXTRUDAREA LA RECE

Extrudarea la rece a materialelor cu plasticitate ridicată și rezistență scăzută la deformare plastică (neferoase) nu ridică probleme deosebite față de extrudarea la cald. În cazul oțelurilor, datorită forțelor de extrudare mari, se utilizează extrudarea numai pentru piese finite cu lungimi de 5 . . . 1 200 mm și diametre 5 . . . 150 mm. Dimensiunile pieselor extrudate sînt limitate de proprietățile sculelor și puterea instalațiilor de extrudat. Dacă extrudarea se face în trepte (cu coroiaje reduse) dimensiunile pieselor extrudate pot fi mărite. Dimensiunile cresc și în cazul cînd extrudarea se combină cu alte procedee de deformare plastică.

Extrudarea la rece permite obținerea pieselor cu suprafețe curate toleranțe restrînse și ecruisate. Datorită acestui lucru crește rezistența la rupere, șoc și oboseală.

Se extrudează la rece oțeluri care permit refularea cu grad de deformare plastică peste 60% în stare recoaptă, iar teoretic gama de oțeluri ce pot fi extrudate nu este limitată. Procesele devin neraționale dacă presiunea pe poanson depășește 220 daN/mm² sau nu permite un grad de deformare plastică de 25% pe trecere. Aceste condiții le satisface oțelurile nealiate sau slab aliate cu puțin C sau piese simple cu 0,45% C. Se extrudează însă și alte oțeluri în condiții de forme geometrice simple. Oțelurile de convertizor se extrudează mai greu. În această situație cantitatea de incluziuni este limitată cît și a elementelor însoțitoare: Si=0,2%; Mn sub 0,6%, iar P și S sub 0,035% fiecare.

Pregătirea semifabricatelor pentru extrudare la rece, constă în: debitare, calibrare, recoacere de înmuiere (elementele de aliere să difuzeze în ferită, perlita să se globulizeze, cementita să se repartizeze uniform, grăunții să fie de punctaj de 3 . . . 4), curățirea oxizilor (ca la trefilare), spălarea cu apă rece și apoi caldă, degresarea, spălarea, decaparea, spălarea, neutralizarea, ungerea (cel mai bine prin fosfotare cu un strat de 30 μm și parafinare), saponificare (soluții de apă, săpun și grafit), uscare și extrudare. După extrudare produsele se supun tratamentelor termice sau de protecție anticorosivă.

3.8. FORJAREA

Forjarea este procedeul tehnologic de prelucrare a materialelor prin deformare plastică prin lovire, cunoscută de peste 5 000 de ani (chiar înaintea topirii) și s-a efectuat pe fierul meteoritic-nativ.

Forjarea se poate executa manual sau mecanizat și poate fi liberă sau în matriță (matrițarea).

3.8.1. FORJAREA LIBERĂ

Forjarea liberă este procesul tehnologic de deformare plastică prin lovire sau presare între sculele plane sau profilate în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice ale materialelor turnate sau a obținerii pieselor din semifabricate și are un domeniu larg de aplicabilitate.

3.8.1.1. **Procesul tehnologic de forjare.** Acesta constă în combinarea unor operații tehnologice simple, numite operații de bază, dintre care:

Scanned with OKEN Scanner

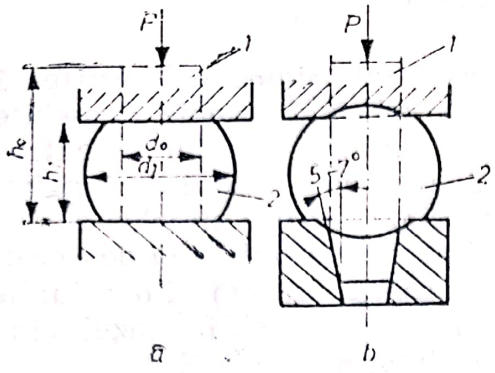


Fig. 3.44. Variante de refulare:
a – plană; b – cu proeminență.

Refularea (fig. 3.44) este operația de forjare liberă prin care se măresc dimensiunile transversale 2, pe seama reducerii lungimii *1*, (înălțimii) semifabricatului și poate fi: plană (premergătoare găuririi); cu o proeminență sau cepuri (după care urmează o întindere) și cu două proeminențe (lugimi mici ale proeminențelor).

La refulare trebuie să se respecte condițiile; $h_0 < (2{,}5 \ldots 3)d_0$, pentru a nu apărea flambajul; semifabricatele să fie de secțiune rotundă, în caz contrar apar fisuri longitudinale.

În cazul refulării mărimea utilajului de deformare plastică se determină cu ajutorul forței de refulare (la prese) care după Siebel $P = A_0 \sigma'_c \left(1 + \frac{\mu d_0}{3 h_0}\right)$ în care: A_0 este suprafața transversală inițială a metalului, în mm²; σ'_c — rezistența de deformare a metalului la temperatura de încercare; μ — coeficient de frecare exterioară; d_0/h_0 — dimensiunile piesei ce se refulează și trebuie să nu fie mai mare de 4. Formula consideră forța de frecare exterioară constantă pe suprafața de contact, dar aceasta crește cu creșterea raportului d/h și nu ține cont de viteza de deformație $v_r = v_a/h_0$, temperatură, grad de aliere etc. (v_a — este viteza de deformare).

Cunoscînd că $E = \frac{G \cdot v^2}{2g}$ și că energiei de lovire (impact) îi corespunde lucrul mecanic de deformare unitară, vom avea $L = \eta E$, în care η este randamentul ciocanului (obișnuit 0,75 ... 0,95). De aici rezultă masa părții căzătoare:

$$G = \frac{2g}{v^2 \eta} p_m V \ln \frac{h_0}{h_1} \text{ [kg]},$$

în care: p_m este presiunea medie de deformare; V — volumul piesei, în cm³.

Întinderea este operația prin care se mărește lungimea inițială (lungirea) prin reducerea secțiunii transversale a semifabricatului. Întinderea este o succesiune de refulări parțiale, și poate fi:

— s i m p l ă, care urmărește numai lungirea materialului și se poate executa prin rotire alternativă la 90° sau în spirală după fiecare lovitură de ciocan (materiale cu plasticitate redusă). Primul procedeu are și varianta de rotire după n lovituri — c, care este mai productivă (fig. 3.45);

— c u l ă ț i r e, în care lungirea decurge cu o lățire și în acest caz lungimea de prindere l_0 trebuie să fie cît mai mare. Se mai întîlnesc întinderi profilate, cu deplasare axială, pe dorn etc.

Găurirea este operația prin care se realizează un orificiu pătruns sau nepătruns prin forjare. Cel mai adesea se realizează găuri pătrunse, cele nepătrunse efectuîndu-se mai mult prin matrițare. Găurirea se execută cu perforatoare (dornuri) pline, pentru găuri de Ø <500 mm și tubulare la Ø>400 mm.

Scanned with OKEN Scanner

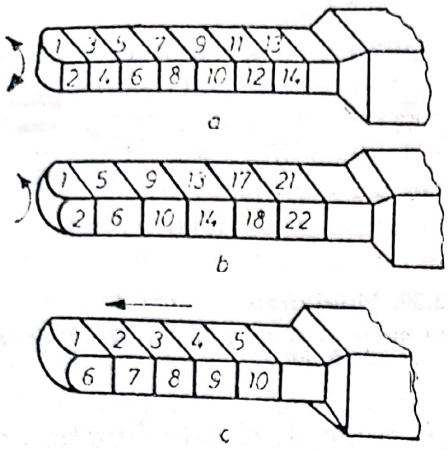


Fig. 3.45. Rotirea semifabricatului la întinderea prin forjare:
a – alternativă; **b** – spirală; **c** – alternativă după **n** lovituri.

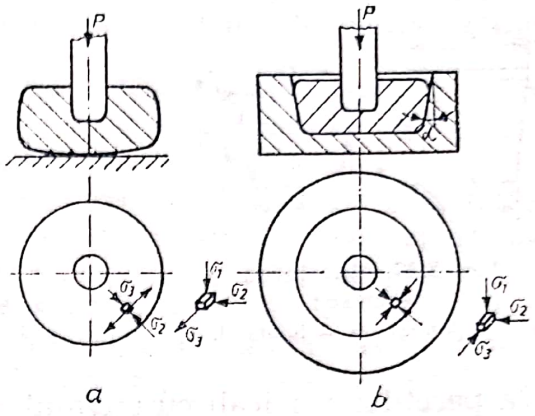


Fig. 3.46. Găurirea prin forjare cu perforator plin:
a – deschisă; **b** – închisă.

Găurirea cu dornuri pline poate fi: deschisă (fig. 3.46) și închisă, iar cu cele tubulare numai deschisă (cu două tensiuni de comprimare și una de întindere). În cazul găuririi închise crește plasticitatea materialului, necesită însă scule și forțe de presare suplimentare (oțeluri cu plasticitate redusă, producția de serie mare). Alte operații de bază mai pot fi: îndoirea, răsucirea, sudarea etc.).

3.8.2. MATRIȚAREA

Matrițarea este procedeul de prelucrare a materialelor prin deformare plastică simultană, în întreg volumul, proces ce are loc datorită curgerii materialelor metalice în cavitatea unor forme metalice numite matrițe. Comparativ cu forjarea liberă, matrițarea este un procedeu economic și productiv, rentabil în producția de serie mijlocie și mare și în cazul pieselor de mărime reduse. Uneori se combină cu forjarea — în cazul pieselor lungi și mari. Matrițarea se execută la ciocane și prese sau la mașini speciale și poate fi: deschisă sau închisă.

Matrițarea deschisă sau cu bravură se aplică pentru piese cu configurație complexă, din semifabricate cu dimensiuni ușor de calculat, dar se schimbă direcția fibrajului și rezultă deșeu-bavura. După construcția matrițelor se disting: matrițare deschisă unilaterală (fig. 3.47) și bilaterală. Matrițarea unui cilindru *1* cu d și h, din semifabricatul *2* cu d_0 și h_0, se poate face în matrița *3*, fără înclinații, dar piesa se scoate foarte greu — *a* și *b*. Ușurarea scoaterii se face prin înclina-

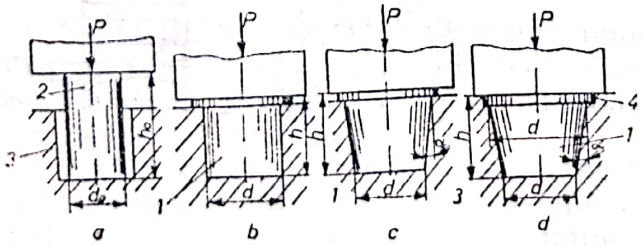


Fig. 3.47. Variante de matrițare deschisă unilaterală.

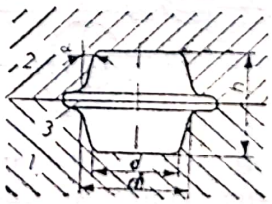


Fig. 3.48. Matrițare deschisă bilaterală.

Scanned with OKEN Scanner

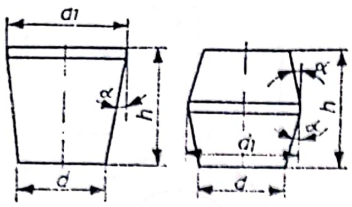


Fig. 3.49. Matrițarea deschisă:
a – unilateral; b – bilateral.

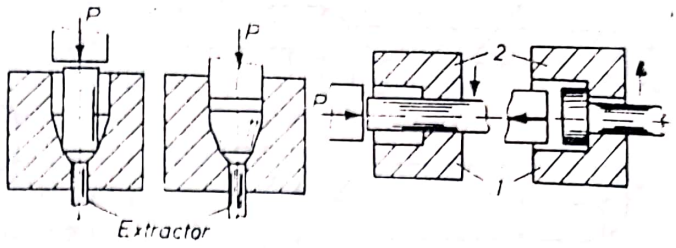


Fig. 3.50. Matrițarea închisă:
a, b – la prese sau ciocane; c, d – la mașini orizontale de forjat.

rea pereților verticali cu unghiul α — c, dar $h \neq$ const. și este funcție de h_0. De aceea se recomandă varianta *d*. În acest caz surplusul de material se colectează în locașul de bavură *4*. După matrițare bavura se îndepărtează (debavurare). Creșterea diametrului la d_1 duce la consum de material prin forjare (adaos tehnologic) și mărirea manoperei de prelucrare prin așchiere. De aceea se recomandă matrițarea bilaterală (fig. 3.48), practicarea locașurilor în ambele semimatrițe — inferioară *1* și superioară *2*. Bavura *3* se formează în planul de separație, nu la capetele piesei. Acest lucru atrage după sine economie de material (fig. 3.49) și de prelucrare mecanică, întrucît α este egal în ambele cazuri. Matrițele sînt mai scumpe în varianta bilaterală și se uzează mai repede (în special cea superioară), dar la piese de configurație complexă este obligatorie.

Matrițarea închisă (fig. 3.50) constă în deformarea materialelor într-o singură cavitate a matriței *1* și obținerea piesei fără bavură și se întîlnește cel mai des la mașini orizontale de matrițat (forjat) unde sînt semimatrițele fixă *1* și mobilă *2*.

3.8.3. MAȘINI CU DESTINAȚIE SPECIALĂ

Mașinile cu destinație specială se utilizează pentru operații premergătoare (valțuri) sau la forjarea de precizie a profilelor cu secțiune simetrică (rotative). *Valțurile de forjare* (fig. 3.51) au productivitate ridicată, gabarit redus, lipsesc trepidațiile, dar au un nomenclator de piese limitat. Se folosesc pentru piese lungi de serie mijlocie sau mare. Pe cilindrii de lucru *1*, se montează segmenții de matriță *2*, în care se execută locașurile de forjare sau prematrițare. Semifabricatul *3* (seg-

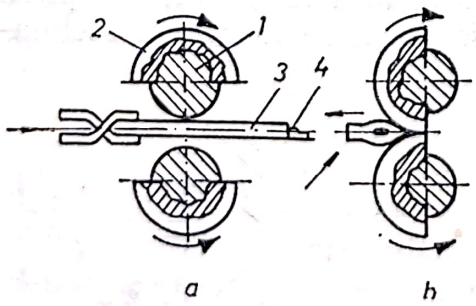


Fig. 3.51. Forjarea la valțuri:
a – înainte de deformare; b – după deformare.

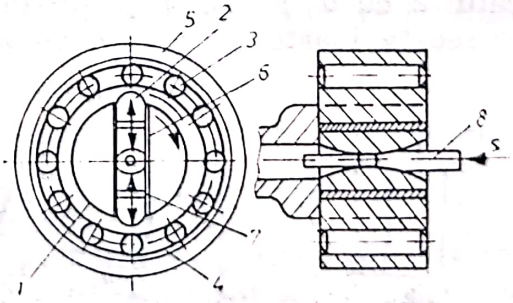


Fig. 3.52. Mașină rotativă cu berbeci.

menții în poziția deschisă — *a*) se introduce pînă la opritorul *4*, deformarea are loc prin închiderea segmenților de matriță, la rotirea cilindrilor — *b*.

Mașinile rotative de forjat au precizie ridicată, productivitate mare, cost redus, dar au domenii de aplicație reduse (piese lungi, cu secțiuni simetrice în producția de serie, mijlocie sau mare).

La rotirea arborelui principal *1* (fig. 3.52), pistonașele *2*, sub acțiunea forțelor centrifuge și a împingerii semifabricatului *8*, se depărtează spre periferie cînd se găsesc între rolele *3* (închise între separatorul *4* și inelul *5*). Cînd pistonașele *2* ajung în dreptul rolelor *3*, ciocanele *6* se apropie de semifabricat și execută deformarea (semifabricatul înaintează datorită forței *S*, pentru o nouă deformare, în momentul cînd pistonașele se găsesc între role). Reglarea dimensiunilor semifabricatului se face cu penele 7, introduse între pistonașe și ciocane.

Pentru deformări variabile pe lungimea semifabricatului inelul exterior *5* și rolele *3* se fac conice, iar arborelui principal *1* i se imprimă o mișcare longitudinală.

3.9. PRELUCRAREA TABLELOR

Tablele se pot prelucra prin deformare plastică la cald sau la rece și se asigură obținerea pieselor cu forme apropiate de cele finite; procesele se realizează cu economie de materiale, automatizări și mecanizări datorate formelor semifabricatelor (table, benzi, platbande) cu o dimensiune mult mai mică decît celelalte două. Tablele prelucrate, la proprietăți mecanice superioare, pot înlocui piese turnate, forjate, laminate sau matrițate la cald etc. la costuri mai scăzute.

Prelucrarea prin ștanțare-matrițare a tablelor și în general prelucrarea prin deformare plastică la rece, găsește o extindere din ce în ce mai mare. În raport cu execuția pieselor similare prin turnare, forjare sau așchiere, presarea conduce la reducerea maselor cu 25—50%, a consumului de metal cu 30—70%, a volumului de muncă cu 50—80% etc., la caracteristici mecanice superioare din cauza întăririi cît și a continuității fibrajului în piese.

Tablele se pot prelucra prin mai multe metode funcție de scop, grosimea și natura semifabricatelor, sculele și mașinile folosite etc. Obișnuit tablele se prelucrează prin tăiere (cel mai adesea se realizează semifabricate) și prin deformări plastice.

3.9.1. PRELUCRAREA TABLELOR PRIN TĂIERE

Se execută cu scopul separării unor părți din obiectul supus prelucrării. Metoda de tăiere cea mai răspîndită (la table) este cu tăișuri asociate care permite separarea părților tăiate și se face prin forfecare și ștanțare.

3.9.1.1. **Forfecarea.** Realizează suprafețe de rupere (fig. 3.53) cu ajutorul cuțitelor *1* și *2* (tăișuri asociate) ce constituie elemente active ale sculelor sau mașinilor-unelte denumite foarfeci. Procesul de tăiere cuprinde fazele: deformării elastice (la atingerea tablelor de către cuțite), deformării plastice cînd cuțitele pătrund la adîncimea $h_c=(0{,}1 \ldots 0{,}4)s$,

Scanned with OKEN Scanner

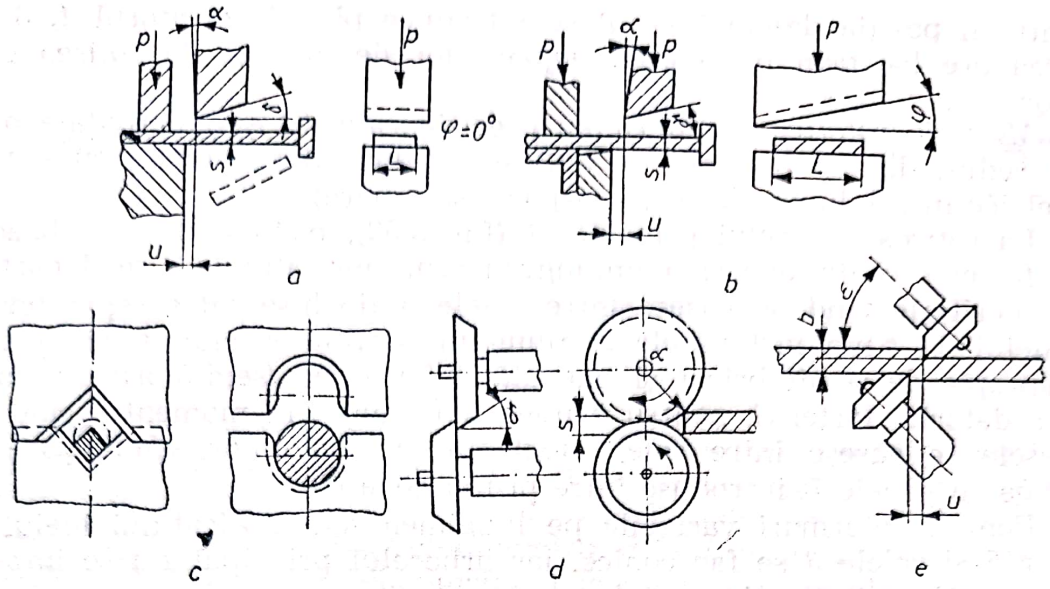


Fig. 3.53. Tipuri de foarfeci cu cuțite:
a – paralele; **b** – înclinate; **c** – profilate; și cu discuri; **d** – paralele; **e** – înclinate.

în care s este grosimea tablelor și forfecarea (separarea) cînd pătrunderea cuțitelor este $h_f=(0{,}15\ldots0{,}7)s$. Pătrunderile h cresc cu plasticitatea materialului. La forfecare se lasă jocul U care se consideră optim $U_{opt}=(0{,}01\ldots0{,}2)s$ funcție și de material și de utilaje.

La tăiere (fig. 3.54) apare momentul de răsturnare $M=F\cdot d$, datorită forței de forfecare F la distanța d față de planul de forfecare. Acest moment rotește tabla cu unghiul ω și ia naștere forța T de distanțare a cuțitelor cu mărirea jocului față de U_{opt} și înrăutățirea calității tăieturii. Pentru a realiza $\omega=4\ldots5°$ se strînge OP cu forța P și se reduce d prin unghiul de degajare $\gamma=5\ldots20°$/materiale dure γ reduse).

Forța necesară la forfecare $F_t=AR_m$ este funcție de aria secțiunii și rezistența de rupere a materialului forfecat.

3.9.1.2. **Ștanțarea.** Prin tăiere se realizează în special semifabricate pentru ștanțare în care ștanța (fig. 3.55) are elementele active asociate, placa de tăiere *1*, poansonul *2* și obiectul de prelucrat *3*. Elementele active au conturul secțiunii transversale corespunzător conturului piesei și cel puțin unul posedă muchie tăietoare. Între poanson și placă există un joc $j=(0{,}05\ldots0{,}1)s$ care influențează calitatea tăieturii, consumul

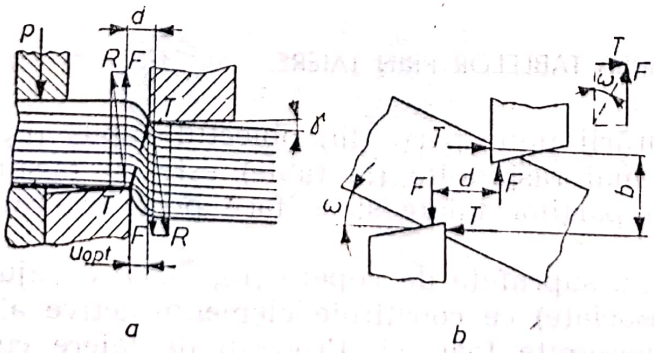


Fig. 3.54. Procesul tăierii cu foarfecele (a) și schema forțelor (b).

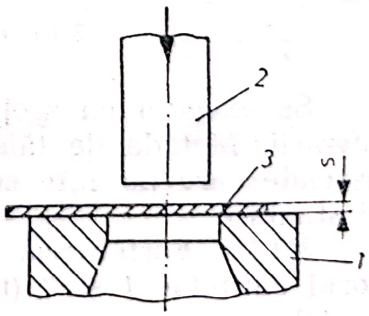


Fig. 3.55. Schema ștanțării.

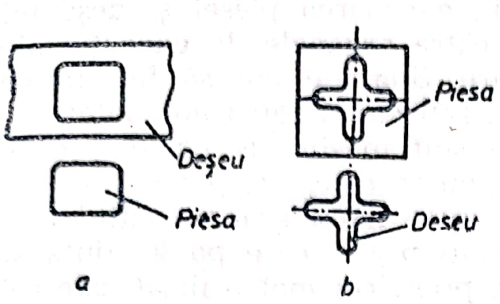


Fig. 3.56. Operaţii de ştanţare:
a – decuparea; b – perforarea.

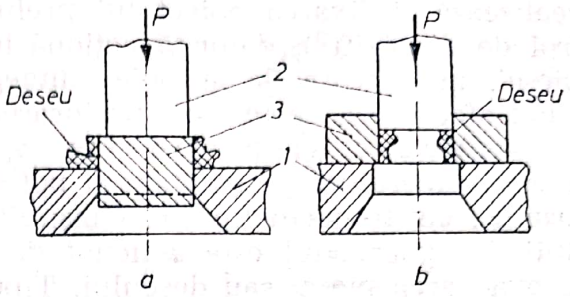


Fig. 3.57. Calibrarea prin ştanţare.

de energie şi durabilitatea ştanţelor. Un joc prea mic conduce la nesuprapunerea suprafeţelor forfecate de poanson şi matriţă, creşterea forţelor de tăiere. Un joc prea mare conduce la extrudarea şi îndoirea materialului în spaţiul de lucru, bavuri cu margini neregulate, mărind forţa de tăiere, putînd crăpa placa tăietoare etc. Repartizarea neuniformă a jocului pe perimetru şi uzura sculelor au efecte similare.

Principalele operaţii de ştanţare sînt: *decuparea* (fig. 3.56) după contur închis, produsul separării reprezentîndu-l piesa — *a*; *perforarea,* realizată tot după un contur închis, produsul separării fiind deşeu — *b*. Prin ştanţare se mai execută *calibrări* (fig. 3.57) pe contur exterior — *a,* sau interior — *b,* realizînd produsul *3*. Operaţia este de precizie ridicată şi se execută după decupare sau perforare prealabilă (se elimină asperităţile de pe suprafaţa tăiată, se obţin dimensiuni precise etc.). Se aplică la piese de ceasornice sau alte produse de macanică fină, în industria electrotehnică, automatică etc. În cazul hîrtiei *3,* cartonului, cauciucului, pieilor, materialelor plastice etc., se poate executa tăierea pe *suport moale 4* (fig. 3.58) după contur închis în care scula *2* are un tăiş (lamă) cu unghiul $\beta=8°$ în cazul ebonitei, 35° pentru textolit etc. Tăierea se poate executa şi în pachet. Deseori se necesită îndepărtarea marginilor neregulate (după ambutisare) operaţie ce se numeşte *tundere* (fig. 3.59). Operaţie similară tunderii este debavurarea care se execută la piese turnate, matriţate, forjate etc.

Utilajele pentru ştanţare sînt:

— ş t a n ţ e l e, care sînt sisteme tehnice cu funcţie complexă întrucît pe lîngă generarea suprafeţei piesei cu elementele active (rol de sculă)

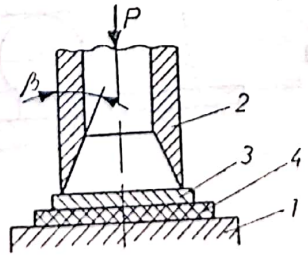


Fig. 3.58. Tăierea pe suport moale.

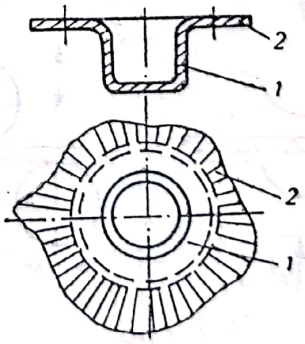


Fig. 3.59. Tunderea:
1 – piesă; 2 – deşeu.

realizează și fixarea obiectului prelucrării, evacuarea piesei și deșeului (rol de dispozitiv), datorită acționării de către organele de execuție ale piesei, în mișcare de apropiere-îndepărtare. Stanțele pot să fie simple (cînd efectuează decuparea, perforarea sau retezarea) sau combinate;

— p r e s e ș i d i s p o z i t i v e, care sînt mașini de prelucrare ce execută operațiile de ștanțare și pot fi acționate mecanic, pneumatic, hidraulic, electromagnetic etc. Obișnuit ștanța se montează pe batiul mașinii, iar poansonul este acționat de culisoul presei care poate ajuta și la evacuarea piesei sau deșeului. Tipul de presă cel mai utilizat este cel cu excentric.

3.9.2. PRELUCRAREA TABLELOR PRIN DEFORMĂRI PLASTICE

Funcție de scop, forma produselor din tablă, grad de fasonare, tablele se prelucrează prin deformări plastice prin mai multe metode.

3.9.2.1. **Îndoirea tablelor.** Cuprinde îndoirea propriu-zisă (fig. 3.60) prin care se schimbă orientarea axei semifabricatului, fără a se afecta lungimea acestuia. Se poate efectua *profilarea* (fig. 3.61) prin îndoire și are loc prin îndoiri paralele cu muchiile longitudinale obținînd profile care amintesc în secțiune profilele ușoare laminate. Îndoirea mai cuprinde și *curbarea* (fig. 3.62), și se execută pentru a realiza forme cilindrice sau conice a semifabricatelor *1*.

3.9.2.2. **Ambutisarea.** Ambutisarea obișnuită (fig. 3.63) reprezintă cea mai utilizată metodă de prelucrare a tablelor subțiri prin deformări plastice cînd prin acțiunea poansonului *1* asupra semifabricatului *4* acesta

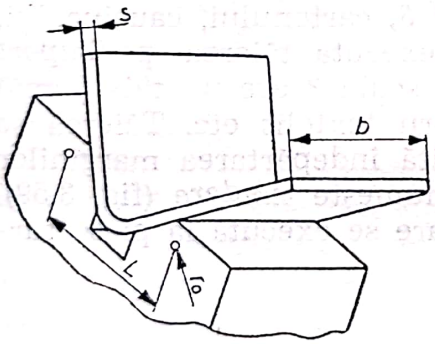


Fig. 3.60. Schema îndoirii.

Fig. 3.61. Table profilate (secțiuni).

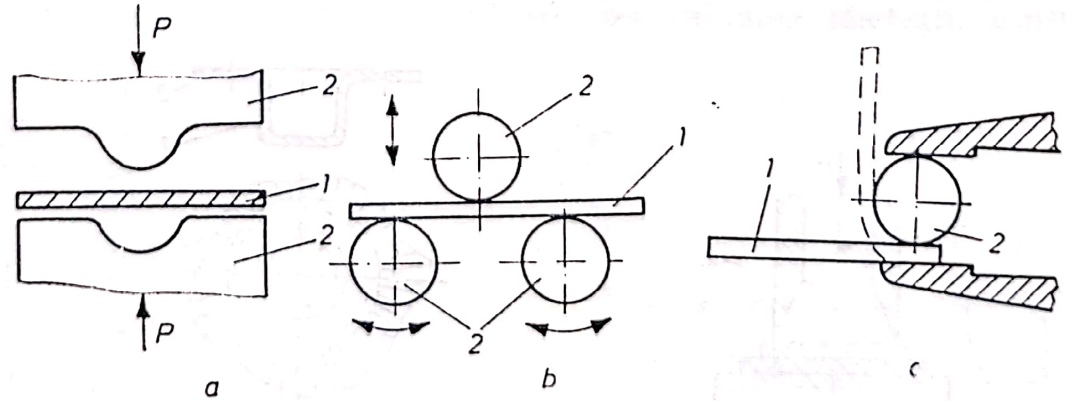


Fig. 3.62. Schema curbării:
a — prin presare cu matriță 2; b — prin laminare cu cilindrii 2; c — în jurul dornului 2 a semifabricatelor 1.

Scanned with OKEN Scanner

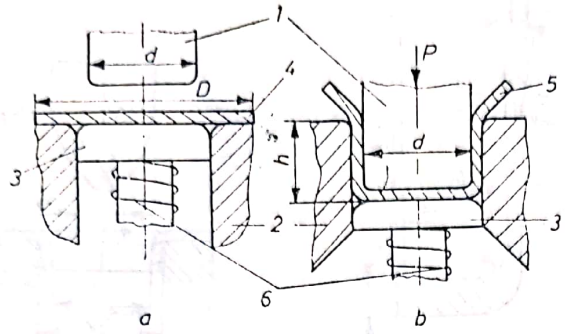


Fig. 3.63. Schema de principiu la ambutisare:
a – înainte; b – drept.

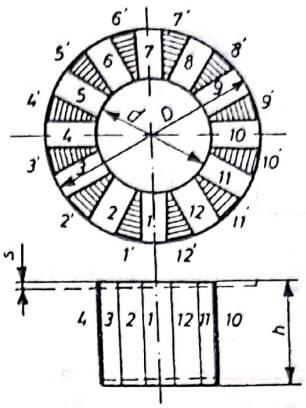


Fig. 3.64. Zonele de deformare.

este obligat să intre în matrița 2 și să ia forma matriță (în exterior) poanson (în interior) și se obține o piesă cavă 5. După ambutisare piesa 5 este scoasă (aruncată) din locaș cu ajutorul aruncătorului hidraulic 3 sau cu resortul 6.

Ambutisarea se poate realiza *fără subțierea grosimii pereților* (fig. 3.63, *b*) cînd semifabricatul cu D inițial se transformă în produs cu d și înălțime $h=D-d/2$. Pe înălțimea h apar volume de material (1 . . . 12) deformat plastic (fig. 3.64) și volume nedeformate plastic (1′ . . . 12′) sau volum deplasat (partea hașurată). Gradul de deformare plastică este $K=\frac{V_{depl}}{V_{def}}=\frac{D-d}{D+d}$. Întrucît V_{depl} este excedentar acesta conduce la formarea cutelor. La semifabricate groase se netezesc prin jocul „j". În cazul unor semifabricate subțiri sau a pieselor cu $D-d\geqslant 18\cdot s$, cutele sînt prevenite prin ambutisarea cu inel de reținere (fig. 3.65), inel 1 care fixează semifabricatul 2 cu o forță P_r. Dacă semifabricatul se împarte în zonele A . . . E (fig. 3.66) se poate arăta că deformările și solicitările sînt: A — compresiune tangențială și axială, întindere radială; B — întindere și încovoiere; C — întindere; D — încovoiere; E — întindere. Acest fapt conduce la îngroșarea materialului la margine cu

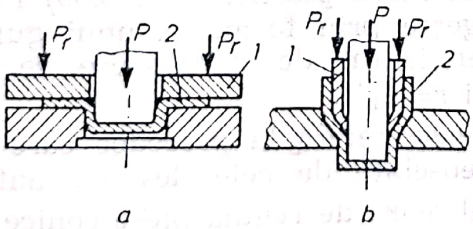


Fig. 3.65. Ambutisarea cu inel de reținere:
a – exterior; b – interior.

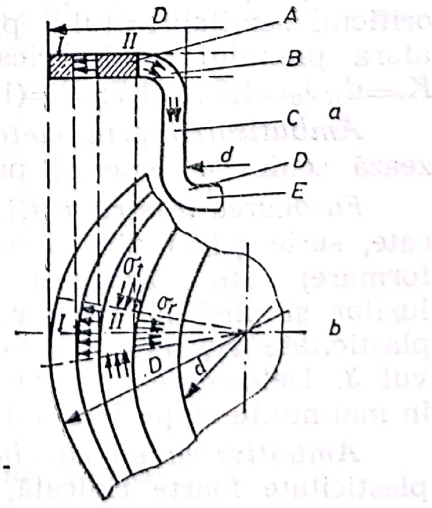


Fig. 3.66. Schema solicitărilor la ambutisare.

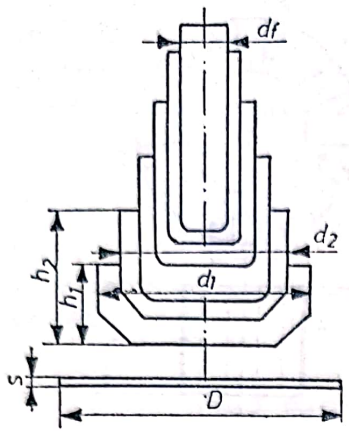


Fig. 3.67. Schema ambutisării succesive.

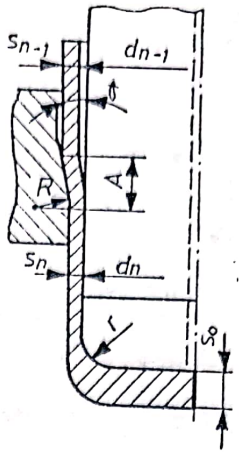


Fig. 3.68. Schema ambutisării cu subțierea pereților.

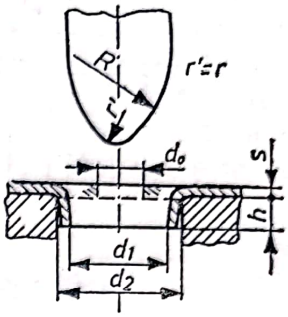


Fig. 3.69. Operația de răsfrîngere.

(0,2 ... 0,3) s și subțiere în zona D cu (0,1 ... 0,18) s — zona cea mai solicitată.

Solicitările la care sînt supuse semifabricatele de ambutisat pot provoca ruperile acestuia. Posibilitatea ruperilor se apreciază prin $K=D/d=1{,}5 \ldots 2=1/m$, în care m este coeficientul de ambutisare dat. În cazul cînd nu trebuie să fie depășit se execută *ambutisarea succesivă* (fig. 3.67). Acest lucru se stabilește din coeficientul de ambutisare total $m_t=d_f/D$, în care d_f este diametrul final. Coeficientul $m_t=m_1 \cdot m_2 \ldots m_n$ determină numărul de ambutisări succesive (necesare) pentru a obține produsul finit fără a depăși coeficienții de ambutisare intermediari m_1, m_2 ... etc.

În general se admite: $m_1=0{,}45 \ldots 0{,}6$, iar $m_2=m_3=m_f=0{,}65 \ldots 0{,}8$; valorile mai mici se utilizează în cazul semifabricatelor cu s sub 2 mm.

Evitarea ruperii materialului sau a gripării la ambutisarea fără subțierea pereților se face prin adoptarea unui joc între pereți și matriță $j=(1{,}1 \ldots 1{,}3)s$. În cazul *ambutisării cu subțierea pereților* (fig. 3.68) jocul $J=(0{,}25 \ldots 0{,}65)s$. Gradele de deformare cît și K diferă, întrucît $K=s_n/s_{n-1}$ și $\varepsilon=s_{n-1}-s_n/s_{n-1}$ și se admit valori: $\varepsilon_1=0{,}25$ și $\varepsilon_2=\varepsilon_3=\varepsilon_n=0{,}30$, iar $K_1=0{,}75$ și $K_2=K_3=\ldots=K_n=0{,}7$.

Răsfrîngerea este procesul de deformare plastică (fig. 3.69) în care orificiul semifabricatului plan se lărgește prin formarea unui guler în afara planului semifabricatului. Coeficientul de răsfrîngere se alege $K_r=d_1/d_0=1{,}5 \ldots 1{,}7$; $R=(1 \ldots 2)\ d_1$ și $r=d_1/4$.

Ambutisarea prin metode speciale se referă la procedee care utilizează scule sau energii principial deosebite de cele descrise anterior.

Fasonarea la strung (fig. 3.70) realizează de regulă piese conice (unicate, serie mică) din materiale plane (table) pe modele (profil de deformare) *1* în mișcare de rotație cu 400 ... 600 rot/min în cazul oțelurilor și pînă la 1 200 rot/min în cazul Al, Cu și alte materiale cu plasticitate ridicată (alamă). Semifabricatul *2* se fixează cu dispozitivul *3*. Deformarea se execută și cu reducerea (subțierea) materialului în mai multe etape folosind un dispozitiv cu role *4*.

Ambutisarea cu cauciuc (fig. 3.71) se aplică la table subțiri și cu plasticitate foarte ridicată, piese de înălțime redusă și de configurație

Scanned with OKEN Scanner

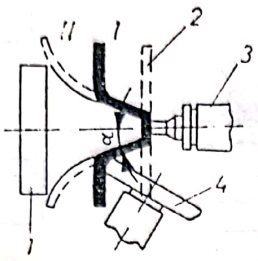


Fig. 3.70. Fasonarea la strung.

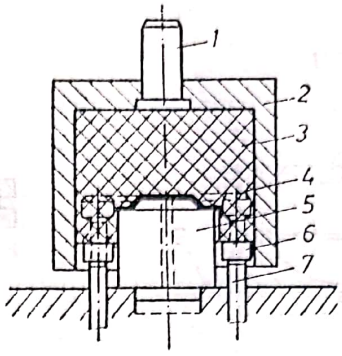


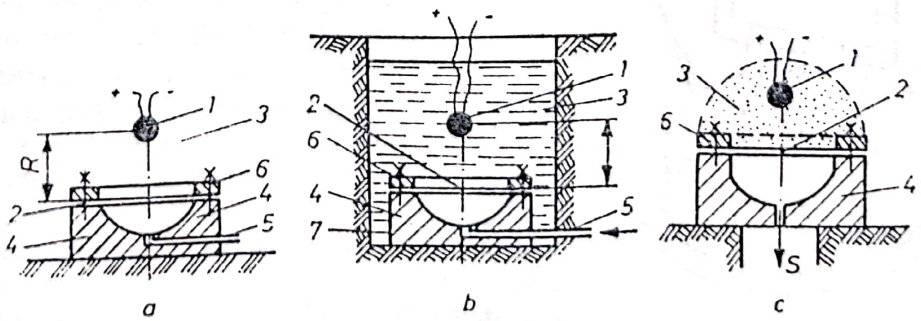
Fig. 3.71. Ambutisarea cu cauciuc.

simplă. Acțiunea poansonului *1*, în matrița *2*, asupra cauciucului *3* determină deformarea semifabricatului *4* pe poansonul profilat *5*. Schema mai conține placa limitatoare *6* și suporții mobili *7*.

Ambutisarea cu viteze mari se poate face prin explozie și utilizează explozivi lenți (propulsori) care dezvoltă presiuni 300 N/mm² la viteze $(3 \ldots 24) \cdot 10^2$ m/s și brizanți (violenți) care dezvoltă presiuni $3 \cdot 10^4$ N/mm² și viteze pînă la 7 500 m/s. Primii (pulberea neagră sau cea fără fum, amestecuri de gaze inflamabile etc.) asigură o dirijare presiune—timp și contactul gazelor calde cu semifabricatul transmite acestuia căldură. Prelucrarea are loc în încăperi închise pentru produse mici. Cei brizanți (dinamita, trotilul) se folosesc pentru produse masive (diametre peste 10 m și *s* peste 30 mm) care se prelucrează în sisteme deschise special amenajate.

Prelucarea prin explozie fără *contact între sursa de energie 1 și semifabricat 2* (fig. 3.72) se găsește la o distanță de acesta prin interpunerea unui mediu de transmitere a undei de șoc *3*. Semifabricatul preia forma matriței *4*, prevăzută cu orificiu de evacuare a aerului *5* și placa de fixare *6*. Efectul undei de șoc fiind instantaneu, valoarea ei scade repede pînă la nivelul înconjurător și matrițele au o construcție simplă, dimensiuni mai reduse și materiale mai ieftine (lemn, beton, mase plastice, fontă, gheață etc.).

La prelucrarea prin *contact între sursă* (explozivi lenți) și semifabricat (fig. 3.73) se transmite acestuia presiuni foarte mari în timp scurt. Prezența camerelor închise scumpește instalația. Se folosește pentru materiale cu plasticitate redusă.



a *b* *c*

Fig. 3.72. Ambutisarea prin explozie fără contact:
a — aer; b — apă; c — nisip.

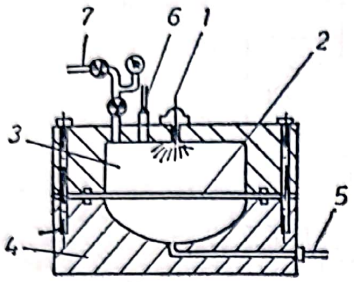


Fig. 3.73. Ambutisarea prin explozie cu contact.

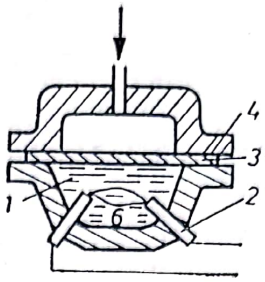


Fig. 3.74. Ambutisarea electrohidraulică.

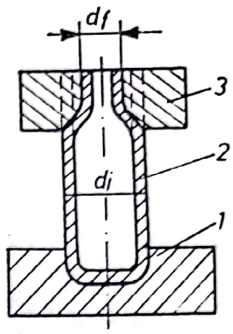


Fig. 3.75. Operația de gîtuire.

Ambutisarea electrohidraulică (fig. 3.74) utilizează energia descărcării electrice de înaltă tensiune sub formă de impuls de scurtă durată, amorsată în medii dielectrice — lichide *1*, între electrozii *2* și semifabricatul *3* (ia forma matriței *4* din cauza undelor de presiune generate de descărcare). Viteza de deplasare a undei poate atinge $6 \cdot 10^3$ m/s la o presiune de 600 N/mm². Caracterul de impuls al descărcării este asigurat de o baterie de condensatori. Amorsarea descărcării se face prin străpungerea electrică a mediului lichid (30 ... 50 kW) sau prin topirea unui fir metalic ce se găsește între electrozii *2* (3 ... 5 kV) și prezintă avantajele: dirijează forma și poziția descărcării (orientează unda); transformă mai complet energia electrică în energie mecanică și tensiuni de lucru mai mici; necesită însă înlocuirea firului. Față de explozivi metoda asigură o automatizare și un control mai ușor al parametrilor etc.

Ambutisarea electromagnetică se utilizează la prelucrarea semifabricatelor cilindrice la care forțele se obțin prin interacțiunea cîmpului magnetic (sub formă de impuls de mare intensitate) cu curenții electrici induși de acesta în semifabricat.

Fasonarea se execută cu scopul schimbării formelor prin deformări locale ca: *umflarea* sau ambutisarea transversală, care lărgește piesele cave (local cel mai adesea) și utilizează matrițe cu plan de separație.

Gîtuirea (fig. 3.75) reduce local diametrele semifabricatului *2* folosind placa suport *1* și matrița *3*. Pentru a evita cutarea la partea gîtuită și refularea porțiunii cilindrice a semifabricatului, coeficientul de gîtuire este $m_t = d_f/d_i = 1{,}2 \ldots 1{,}3$.

Scanned with OKEN Scanner

4

PROCEDEE ȘI METODE DE SPORIRE A CALITĂȚII MATERIALELOR METALICE

4.1. MATERIALE METALICE ÎN STARE TOPITĂ

Elaborarea metalelor și aliajelor prin procedee convenționale nu poate asigura acestora proprietăți superioare, datorită îndeosebi incluziunilor nemetalice și gazoase, prezenței fosforului și sulfului, structurilor cristaline neomogene etc. Pentru diminuarea efectului acestor imperfecțiuni, materialele metalice elaborate sînt supuse unor operații suplimentare de îmbunătățire a calităților.

4.1.1. SEPARAREA INCLUZIUNILOR

Incluziunile din metale și aliaje în stare topită, sub formă de emulsii și suspensii, pot fi separate prin procedeele următoare.

4.1.1.1. **În interiorul cuptorului.** Se aplică la oțeluri prin reducerea presiunii din cuptor, unde pot avea loc fenomene legate de dezoxidare (40—70% din O_2), degazare (60—70% H_2 și 30% N_2), barbotare și eliminare a incluziunilor pînă la 35%.

Tratarea în vid, spre exemplu a oțelului, reduce perioada de dezoxidare în cuptor și procentul de pierderi de feroaliaje (Si, V, Ti) introduse după vidare (datorită dezoxidării avansate), rezultînd un oțel necalmat care se comportă, practic, ca un oțel calmat. Metalele obținute sînt mai omogene, tenace, rezistente la oboseală și la fenomenul de îmbătrînire. Dezoxidarea sub vid în convertizoare se practică după îndepărtarea zgurei

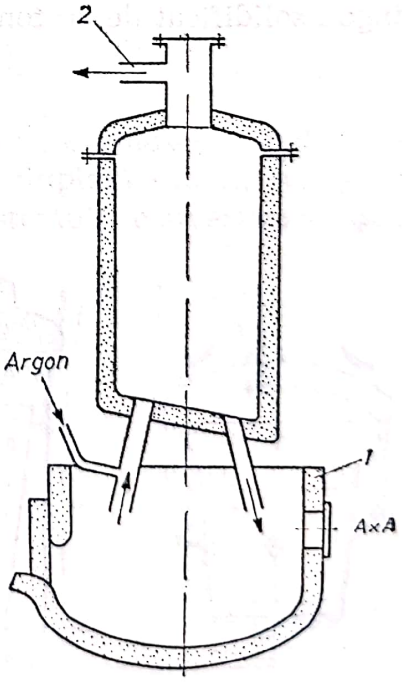


Fig. 4.1. Vidarea în cuptorul electric.

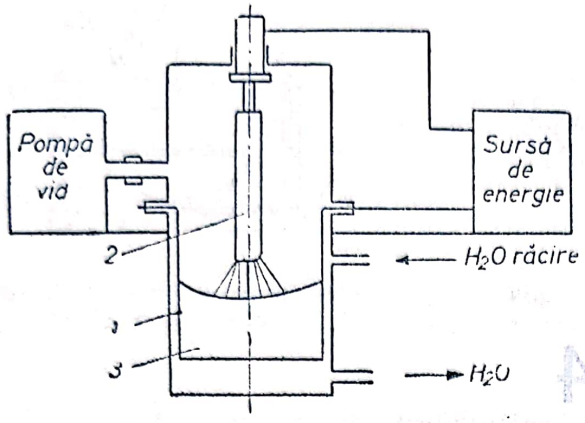


Fig. 4.2. Retopirea sub vid cu electrod fuzibil.

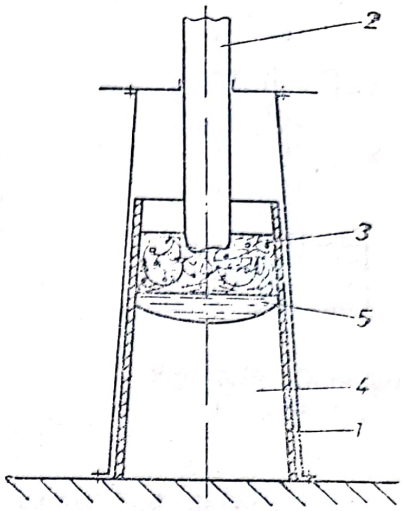


Fig. 4.3. Retopirea sub strat de zgură.

și operația de recarburare, cînd gura convertizorului se racordează timp de circa 5 minute la rezervorul pompei de vid, după care se decuplează conducta de vid, se corectează șarja și se descarcă oțelul în oala de turnare.

Vidarea oțelului în cuptorul electric (fig. 4.1) se face după îndepărtarea bolții și extragerea gazelor din masa de metal topit prin conducta 2 spre pompa de vid. Metoda poate fi înlocuită prin *retopirea în vid* (fig. 4.2), pentru care se folosește un creuzet *1* răcit cu apă și în care se creează vidul de 10^{-1} — 10^{-3} torri; metalul (electrodul fizibil 2), topit de arcul electric cade sub formă de picături în baia *3* după care se solidifică repede. Oțelul obținut are slabe incluziuni și este foarte omogen. În cadrul acestei metode, de exemplu, pentru retopirea unui lingou solidificat de 50 tone, sînt necesare 40 ore.

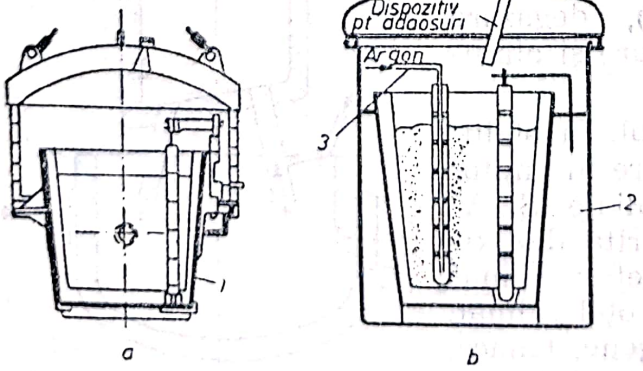


Fig. 4.4. Vidarea:
a — în oală; b — în recipient.

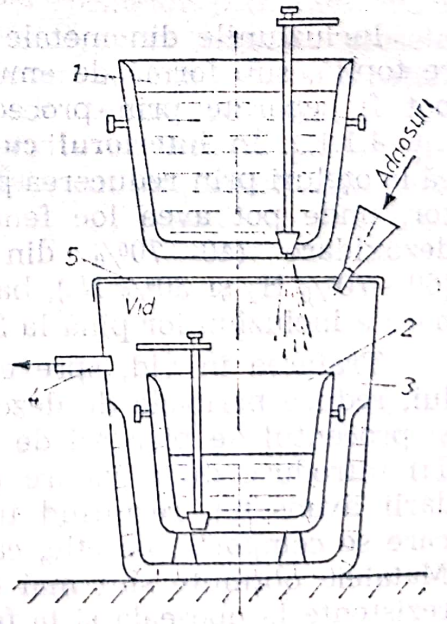


Fig. 4.5. Vidarea prin traversare.

O altă variantă, utilizată pentru separarea incluziunilor, este *retopirea sub strat de zgură sintetică* (fig. 4.3), în lingotiera *1*, legată la sursa de curent trifazat cu electrodul fuzibil *2;* încălzirea se face prin rezistența electrică la temperaturi superioare celei de topire a oțelului; metalul, sub formă de picături, trece prin zgura *3* unde se dezoxidează prin difuziune și solidifică *4*. La partea inferioară se găsește baia de oțel lichid *5*. Viteza de topire este de 2,5 t în 4 ore. Pe lîngă reducerea conținutului de oxigen la 0,025%, are loc și desulfurarea.

Metodele sînt utilizate pentru sporirea calității oțelurilor speciale.

4.1.1.2. **În afara cuptorului.** Fiind o metodă simplă, se utilizează mai frecvent. Vidarea poate fi realizată în oala de turnare *a* (fig. 4.4) sau în camera de vid *b*, însă este necesară supraîncălzirea oțelului și etanșarea spațiului vidat. Rezultate bune dă metoda de vidare prin traversare (fig. 4.5) din oala *1* în oala *2* amplasată în recipientul *3* în care se creează vid de către instalația *4*. Vîna de metal topit, după ce perforează placa ușor fuzibilă *5*, se împrăștie „în stropi" în spațiul vidat, realizînd o degazare foarte bună a șarjei.

4.1.2. DESULFURAREA

Se realizează în afara agregatului de topire și se obține, de regulă, prin afinarea suplimentară în oala de turnare. Se aplică la elaborarea oțelului calmat de convertizor acid, cu ajutorul zgurilor sintetice lichide (50—55% CaO, 35—45% Al_2O_3, 1—3% SiO_2, 1—2% MgO) sau solide (80—85% CaO, 10—15% CaF_2 și 5% Na_2CO_3). Se aplică și oțelurilor de cuptoare electrice cu arc, folosind zguri sintetice topite (30% CaO+70% TiO_2 sau $TiO_2+Al_2O_3+CaO$), în oala de turnare sau la turnarea directă în lingotiere.

4.1.3. PROCEDEE COMBINATE

Pentru creșterea productivității și calității se folosește elaborarea succesivă a aceleiași șarje în două (procedeul duplex) sau în trei (procedeul triplex) agregate de topire, după sistemul: convertizor-cuptor Martin sau electric; cuptor Martin bazic — cuptor Martin acid, cuptor Martin — cuptor electric; cubilou — convertizor — cuptor electric ș.a.

Prin aceste procedee se utilizează mai rațional agregatele și se valorifică zgurile cu procente ridicate de P, Cr, V, Mn etc.

O metodă relativ modernă, utilizată în acest scop în Canada, constă în refolosirea deșeurilor din oțel de calitate superioară, prin retopirea acestora în cubilouri răcite cu apă, fără căptușeală refractară (fig. 4.6).

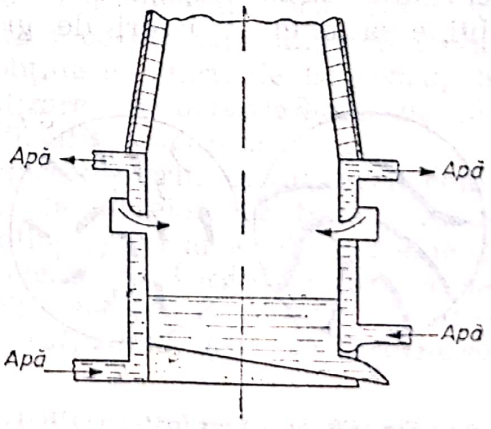


Fig. 4.6. Cubilou răcit cu apă.

Scanned with OKEN Scanner

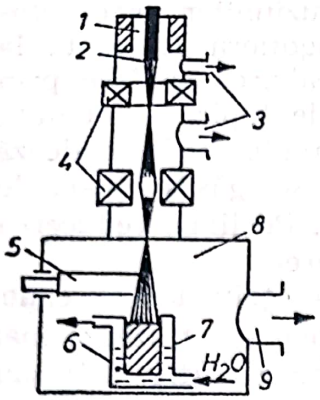


Fig. 4.7. Instalație cu jet de electroni.

4.1.4. ALTE PROCEDEE

Un procedeu tot mai răspîndit este *vibrarea* în timpul turnării pe mese vibratoare sau utilizarea instalațiilor de frecvență la peste 200 Hz. Se obține astfel finisarea structurii și, în același timp, dezoxidarea și chiar desulfurarea, datorită apariției vidului instantaneu local în care se deplasează gazul atomic, cu formarea moleculelor și degazarea acestora la suprafața băii de metal topit.

Pentru utilaje speciale, metale greu fuzibile sau radioactive, se utilizează *topirea cu jet de electroni*. Principiul, cunoscut din anul 1905 (Pirani), a găsit utilizarea practică în ultimii ani, odată cu dezvoltarea tehnicii vidului. Metoda se bazează pe folosirea energiei calorice degajate prin bombardarea metalului topit cu ajutorul electronilor accelerați. Funcție de intensitatea jetului și viteza electronilor, se ajunge la temperaturi de lucru de pînă la 4 300 K. Ca sursă (fig. 4.7), se utilizează „tunul electronic" *1* în care catodul nefuzibil 2 se încălzește pînă începe emisia termoelectronică. Ajungînd în cîmpul electric, electronii se accelerează și, pentru atingerea vitezei necesare, se creează vid de $3 \cdot 133{,}322(10^{-5} \div 10^{-7})$ N/m^2. Jetul, focalizat cu lentilele electromagnetice *4*, bombardează metalul de retopit *5* care, sub formă de picături, se depune în cristalizorul *6* din cupru răcit cu apă, formînd lingoul *7* de puritate înaltă. Camera de topit *8* este de asemenea vidată prin racordul *9*.

4.1.5. MODIFICAREA

Constă în schimbarea artificială a structurii sub acțiunea unor cantități reduse de substanțe introduse înainte de turnare. Adaosurile (modificatori) determină sporirea numărului centrelor de cristalizare, reducerea vitezei de cristalizare, schimbarea formei și dimensiunilor cristalelor etc. Modificatorii nu participă la aliere, ci creează particule greu fuzibile, care au rețeaua cristalină asemănătoare cu faza ce cristalizează servindu-i drept suport acesteia. Astfel, la *modificarea oțelului,* pentru obținerea unei structuri de granulație fină, se introduce aluminiu în

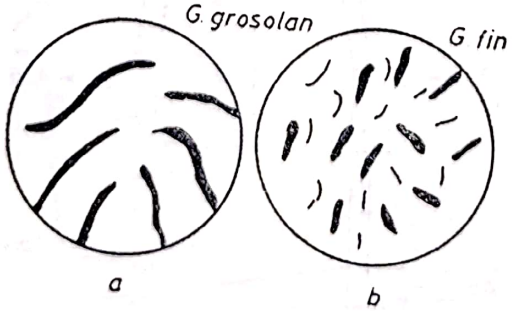


Fig. 4.8. Structura fontelor:
a — nemodificată; b — modificată cu elemente grafitizante.

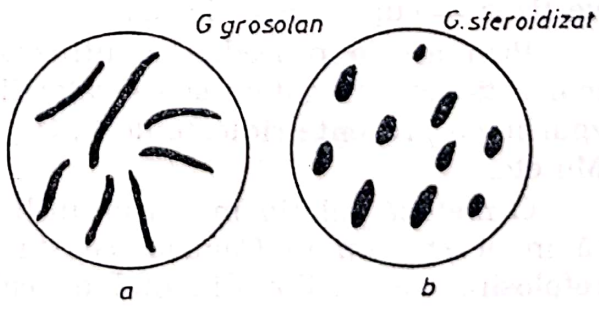


Fig. 4.9. Structura fontelor:
a — nemodificată; b — cu grafit globular.

cantitate de maximum 0,1%. O acțiune similară se obține prin introducerea, sub formă de prealiaje, a Ti, Zr, V, B etc., care joacă rol și de dezoxidanți.

Modificarea aliajelor cu bază de aluminiu se aplică, de regulă, pentru siluminuri, prin introducerea Na metalic (Minet 1896) sau a altor substanțe care finisează formațiile Si primar și fazele eutectice.

Modificarea fontelor poate fi realizată prin modificatori de tipul Si, Fe Si, Ca, Si Ca, Fe Si Ca, Fe Si Ca Al sau mai complecși, care *finisează formațiile de grafit* (fig. 4.8), ca și prin modificatori de tipul Ca, Mg, Ce, Y, sărurile și prealiajele de Mg și Ce și chiar pămînturile rare, care *finisează* și, în același timp, *sferoidizează* formațiile de grafit (fig. 4.9). Fontele modificate, sînt denumite fonte de înaltă rezistență și înlocuiesc cu succes oțelul, fontele maleabile sau aliajele neferoase, datorită proprietăților deosebite și costului mai redus (fig. 4.10).

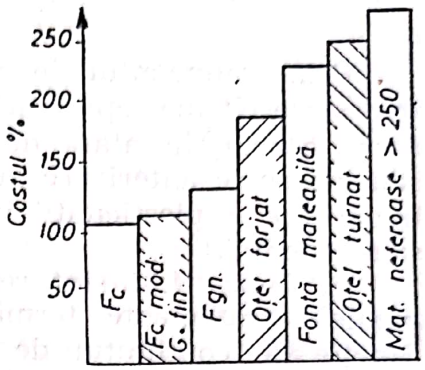


Fig. 4.10. Costul fontelor modificate față de fontele maleabile, oțelurile carbon și aliajele neferoase.

4.2. TRATAMENTE TERMICE ȘI TERMOCHIMICE

Tratamentele termice constă în încălzirea materialului metalic cu o structură cristalină dată (obținută din topitură sau prin deformare plastică sau după alt tratament termic), menținerea la temperatura critică de transformare și răcirea acestuia pînă la temperatura limită, cu anumite viteze. Bazîndu-se pe mecanismul transformărilor de fază, tratamentele termice permit obținerea unei structuri cu proprietăți superioare, apropiată sau diferită de structura de echilibru.

4.2.1. CLASIFICAREA TRATAMENTELOR TERMICE

Tratamentele termice se pot clasifica după cum urmează:

a — tratamente termice propriu-zise, caracterizate prin transformări structurale în toată masa piesei, fără modificarea compoziției chimice. Acestea pot fi: *recoacerea* pentru obținerea stării de echilibru, de omogenizare, de normalizare, de recristalizare, de detensionare, de înmuiere (globulizare); *călirea,* uneori superficială; *revenirea;*

b — tratamente termochimice, caracterizate prin modificarea compoziției chimice a straturilor superficiale ale pieselor, pe baza absorbției și difuziei în rețeaua cristalină a atomilor activi ai unui alt element, în timpul variației termice. În funcție de elementul care difuzează, acestea pot fi: *cementarea* (C); *nitrurarea* (N); *cianurarea* (N+C); *siliciza-rea* (Si); *alitarea* (Al); *cromizarea* (Cr); *sulfizarea* (S); *sherardizarea* (Zn); *sulfocianurarea* (S+C+N) etc.;

c — tratamente termofizice, caracterizate prin combinarea proceselor termice cu cele fizice (tratamente termomecanice sau tratamente termomagnetice).

Scanned with OKEN Scanner

Prin tratamentul de recoacere se urmărește aducerea oțelurilor într-o stare cît mai apropiată de starea de echilibru fizico-chimic și structural. Stările în afară de echilibru se datorează prelucrărilor termice sau mecanice anterioare la care au fost supuse piesele. Se obține o îmbunătățire a plasticității materialelor metalice, cu diminuarea durității și rezistenței.

În figura 4.11 sînt reprezentate zonele în care se realizează principalele tratamente termice. Parametrii ciclului termic se stabilesc, funcție de conținutul de carbon (deci pentru fiecare tip de aliaj în parte), pe baza diagramei tratamentelor termice (fig. 4.12).

4.2.2.1. **Recoacerea pentru obținerea stării de echilibru (recoacerea completă).** Se aplică pieselor care au fost supuse anterior unui tratament termic necunoscut sau incorect aplicat, sau tratament mecanic oarecare, avînd ca scop micșorarea durității și îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere sau deformare plastică la rece.

Tratamentul termic constă în încălzirea piesei din oțel la o temperatură cu 30—50°C peste punctul critic de transformare Ac_3 sau Ac_{cem} (deasupra liniei *1*, fig. 4.11), menținerea la această temperatură în vederea omogenizării termice în tot volumul materialului, urmată de o răcire foarte lentă împreună cu cuptorul, cu o viteză de 10—20°C/oră.

4.2.2.2. **Recoacerea de omogenizare.** Domeniul de utilizare îl constituie piesele turnate din oțel sau alte aliaje, în vederea distrugerii segregațiilor dendridice sau zonare rezultate în timpul cristalizării, cum și pentru omogenizarea compoziției chimice prin difuzie.

Tratamentul termic de omogenizare constă în încălzirea și menținerea îndelungată a pieselor (10—15 ore) în domeniul austenitei la o temperatură cît mai mare (150—200°C peste Ac_3, respectiv Ac_{cem}), pentru a înlesni procesele de difuzie în stare solidă, urmată de o răcire lentă (circa 100°C/oră).

4.2.2.3. **Recoacerea de normalizare.** Tratament care constă în încălzirea oțelului cu 30—50°C peste Ac_3 (pentru oțelurile hipoeutectoide

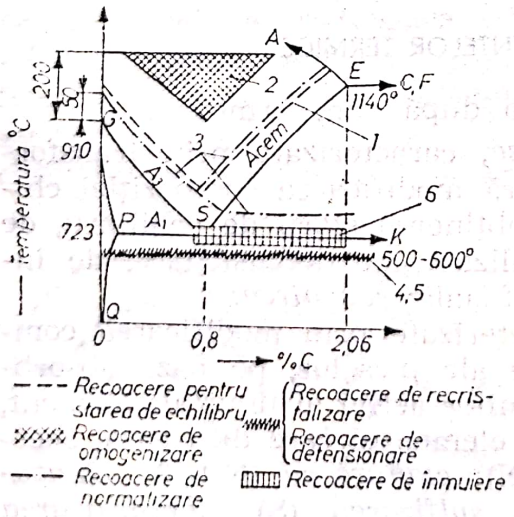


Fig. 4.11. Zonele de încălzire la recoaceri, pentru oțeluri.

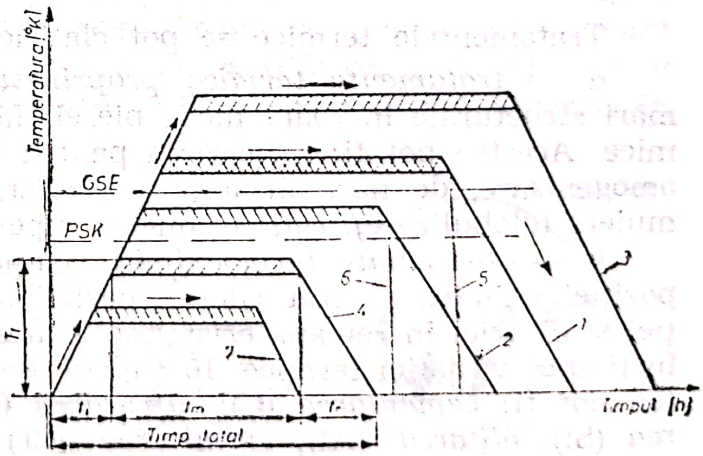


Fig. 4.12. Diagrama tratamentelor termice:
1 — recoacere completă; 2 — recoacere incompletă; 3 — recoacere de omogenizare; 4 — recoacerea de detensionare; 5 — călirea completă (deasupra lui GSE); 6 — călirea incompletă; 7 — revenirea.

Scanned with OKEN Scanner

și eutectoide) respectiv peste Ac_{cem} dacă oțelurile hipereutectoide conțin cementita secundară în rețea, sau peste Ac_1 dacă cementita nu e în rețea (liniile *3* și *1*), urmată de menținerea la aceeași temperatură pentru omogenizare termică și apoi răcirea în aer fără curenți. În urma normalizării sporesc proprietățile privind plasticitatea, reziliența, rezistența la rupere și scade duritatea. În unele cazuri se aplică înaintea altor tratamente.

4.2.2.4. **Recoacerea de recristalizare.** Recoacerea de recristalizare elimină efectele ecruisării prin obținerea unei noi generații de grăunți cristalini. Materialele se încălzesc la „temperatura de recristalizare" care, în principal, depinde de conținutul de elemente de aliere și de gradul de ecruisare. Oțelurile carbon se vor încălzi (zona *4, 5*) cu 200—300°C peste temperatura de început de recristalizare (450°C), adică între 600 și 700°C, iar oțelurile aliate între 600 și 800°C. Răcirea se face cu viteză mică (100°C/h).

După tratamentul termic de recristalizare, structura este constituită din grăunți coaxiali fini, materialul recăpătînd proprietățile de plasticitate. În mod frecvent se aplică sîrmelor pentru a fi trefilate și tablelor înaintea unei noi deformări plastice.

4.2.2.5. **Recoacerea de detensionare.** Se aplică după sudare, deformare plastică, turnare etc., pentru eliminarea tensiunilor interne remanente.

Tratamentul constă în încălzirea, pînă sub punctul critic de transformare, cu viteză mică și menținerea îndelungată (funcție de dimensiunile și complexitatea pieselor) la temperaturi de 550—650°C (zona *4, 5*), urmată de o răcire lentă în cuptor cu viteza de 20—40°C/oră pînă la circa 100—200°C, urmînd apoi o răcire în aer liniștit pînă la temperatura ambiantă.

4.2.2.6. **Recoacerea de înmuiere (globulizare).** Se aplică oțelurilor carbon de scule sau de rulmenți, pentru sporirea așchiabilității și deformabilității la rece sau în vederea unui nou tratament termic. Se realizează prin transformarea perlitei lamelare în perlită globulară (cementita se concentrează, luînd formă sferică), însoțită de o scădere a durității cu circa 150 HB.

Constă în încălzirea și menținerea îndelungată (8—10 ore) a materialelor la temperaturi puțin inferioare punctului critic Ac_1 (fig. 4.13, *a*), urmate de răcirea lentă în cuptor. În timp mai scurt, se poate obține printr-o recoacere pendulară (încălziri și răciri alternative) în jurul punctului critic de transformare Ac_1 cu plus-minus 10—20°C (fig. 4.13, *b*).

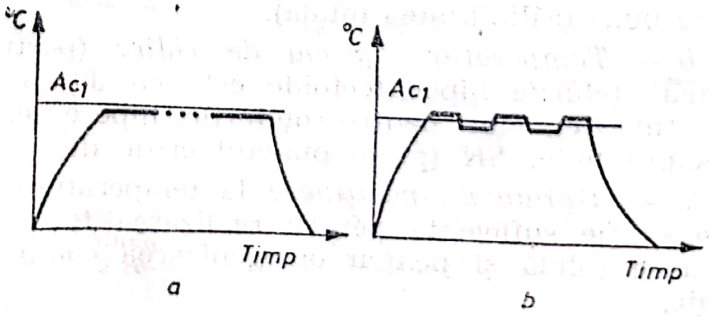


Fig. 4.13. Diagramele tratamentului termic de recoacere de înmuiere.

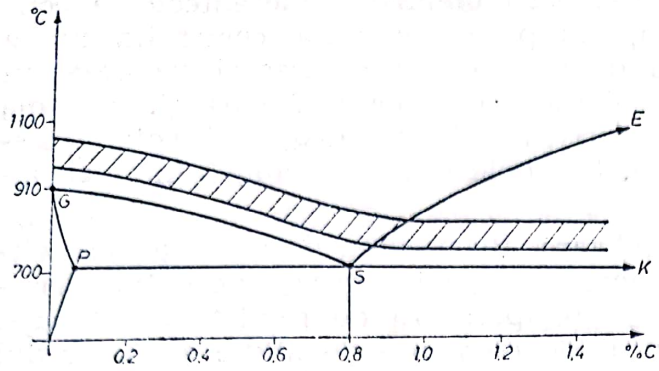


Fig. 4.14. Domeniul temperaturilor la încălzirea pentru călire.

4.2.3.1. **Generalități.** Călirea constă din încălzirea oțelului la temperaturi superioare liniei GOSK cu 30—50° (fig. 4.14), menținerea la această temperatură pentru omogenizare, urmată de răcirea rapidă, în vederea realizării unei structuri în afara stării de echilibru (martensită, troostită, sorbită etc.), care să asigure pieselor proprietăți superioare de rezistență la solicitări statice și dinamice, duritate, rezistență la uzură etc.

Transformarea austenitei la răcire. Prin răcirea unui oțel (ex. 0,8% C), la punctul critic Ar_1 are loc $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ (austenita se transformă în perlită). La viteze mari de răcire, carbonul rămîne blocat în rețeaua celulei elementare de ferită, deformînd-o. Soluția solidă obținută, cu rețea tetragonală, numită *martensită* este vizibilă la microscop, sub formă de lamele aciculare de ferită, cu un conținut de carbon egal cu cel al austenitei din care a provenit, cu duritate mare (600—650 HB) și plasticitate aproape nulă (foarte fragilă).

La viteze mici de răcire, apar structuri intermediare perlitei și martensitei: *troostita* — amestec ferito-cementitic extrem de fin dispers, cu duritate de circa 400 HB; împreună cu martensita în structură, troostita se prezintă sub formă de pete rotunjite de culoare închisă, conturînd cristalele de austenită din care s-a transformat; *sorbita* — amestec ferito-cementitic fin dispers (perlită fină sau perlită sorbitică), cu duritatea de aproximativ 250 HB, cu rezistența mecanică intermediară perlitei și troostitei.

4.2.3.2. **Călibilitatea și unele noțiuni de bază privind tehnologia călirii.** Parametrii procesului de călire sînt:

a — Călibilitatea este caracterizată prin adîncimea de pătrundere și realizarea unei durități minime a stratului călit. Oțelurile cu un conținut de carbon sub 0,4% C se călesc greu, iar duritatea obținută este mică; cele sub 0,25% C nu se călesc decît după o cementare prealabilă. Prin aliere, călibilitatea poate fi sensibil îmbunătățită.

În figura 4.15 sînt prezentate secțiunile cilindrice de același diametru pentru trei calități de oțeluri cu călibilități diferite, supuse călirii în condiții identice. Oțelul *I* are călibilitatea cea mai slabă, iar *III* foarte bună (călibilitatea totală).

b — Temperatura optimă de călire (porțiunea hașurată fig. 4.14), pentru oțelurile hipoeutectoide este cu 30—50°C deasupra liniei *GOS* (punctul Ac_3), iar pentru oțelurile hipereutectoide este cu 30—50°C deasupra liniei *SK* (peste punctul critic de transformare Ac_1).

c — Durata de menținere la temperatura constantă de călire trebuie să fie suficientă pentru realizarea tuturor transformărilor dorite în stare solidă și pentru omogenizarea compoziției chimice a soluției solide.

Scanned with OKEN Scanner

d — Viteza de răcire trebuie să depășească *viteza critică de călire* pentru obținerea unei structuri total martensitice (ex., la oțeluri carbon 150—250°C/s).

e — Alegerea mediului de răcire și temperatura acestuia se face funcție de compoziția oțelului, forma și dimensiunile piesei. O răcire mult prea bruscă favorizează apariția tensiunilor și crăpăturilor. În plus, trebuie evitate colțurile ascuțite la schimbările de secțiune a pieselor (fig. 4.17).

Dintre mediile de răcire, cele mai utilizate sînt: apa rece și soluțiile apoase; apa caldă sau fierbinte; uleiurile și emulsiile; curentul de aer rece; aerul staționar; băile de săruri și metalele topite.

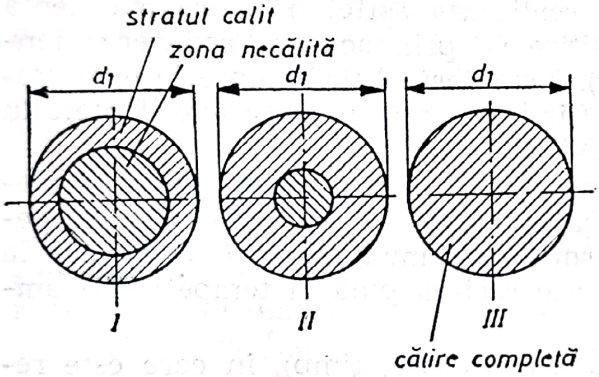


Fig. 4.15. Dependența grosimii stratului călit de capacitatea de călire.

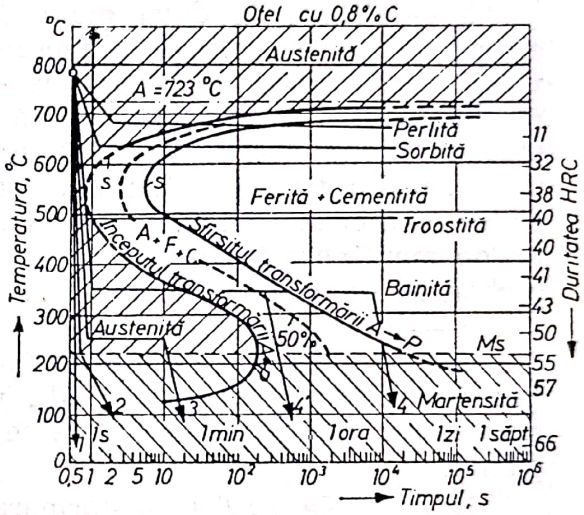


Fig. 4.16. Diagrama **TTT** (transformare, temperatură, timp) pentru călirea unui oțel carbon de compoziție eutectoidă.

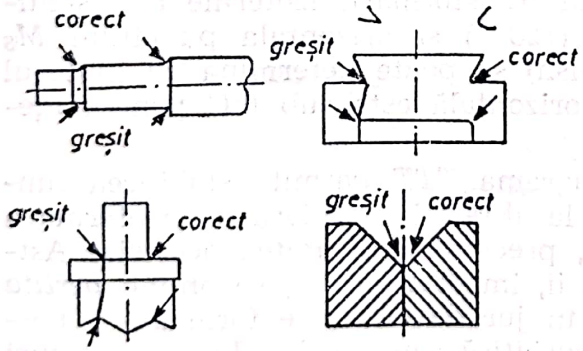


Fig. 4.17. Exemple de alegere corectă a formei pieselor supuse călirii.

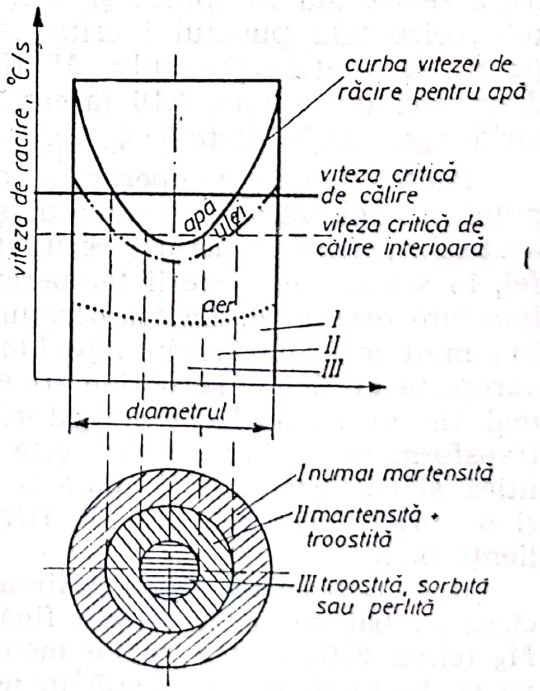


Fig. 4.18. Variația vitezei de răcire în secțiunea unei piese cilindrice și formarea stratului călit pentru diferite medii de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

f — *Grosimea stratului călit.* La suprafața piesei există o viteză maximă de răcire, unde contactul cu mediul de răcire este direct; spre interiorul piesei, vitezele de răcire descresc. Astfel, rezultă zone de structuri cu durități din ce în ce mai mici spre mijlocul secțiunii (fig. 4.18).

4.2.3.3. **Metode de călire.** Se folosesc următoarele metode de călire:

a — *Călirea simplă* se obține la încălzirea piesei și menținerea la temperatura critică de transformare, urmată de răcirea ulterioară într-un mediu (apă pentru oțeluri carbon și ulei pentru oțeluri aliate) capabil să asigure o viteză de răcire superioară vitezei de călire (fig. 4.16, curba *1*). Metoda se folosește numai la călirea pieselor mici din oțeluri carbon cu un conținut sub 0,8% C sau oțeluri slab aliate.

b — *Călirea în două medii* (călire întreruptă cu răcire succesivă) constă în răcirea bruscă a piesei într-un mediu care poate asigura o viteză foarte mare de răcire (de ex. apă), apoi la o temperatură superioară punctului M_S se continuă răcirea într-un alt mediu cu o viteză de răcire mai mică (ulei). Se realizează astfel o răcire mai lentă în intervalul transformării martensitice și, prin aceasta, reducerea tensiunilor interne (fig. 4.16, curba *2*). Este însă dificilă aprecierea duratei de menținere în primul mediu, fiind aplicată mai rar (cazul oțelului carbon de scule de tipul OSC 7 . . . OSC 11).

c — *Călirea izotermă* se obține printr-o răcire bruscă (într-un mediu capabil să asigure o viteză foarte mare de răcire) pînă la o temperatură superioară punctului M_S, urmată de menținerea îndelungată la această temperatură, după care se face răcirea pînă la temperatura ambiantă.

Diagramele *TTT* (transformare, temperatură, timp), în care este reprezentat modul de desfășurare a descompunerii izoterme a austenitei în timp la diferite grade de suprarăcire, pot fi construite pentru fiecare calitate de oțel. În cazul oțelului carbon eutectoid, diagrama *TTT* este reprezentată în figura 4.16. Acest tip de diagrame conțin curbele *S* (care reprezintă începutul și sfîrșitul transformării izoterme a austenitei), orizontala punctului critic A_1 (723°C) și orizontala punctului M_S (start). Orizontala punctului M_f (finish) se poate determina cu ajutorul diagramei din figura 4.16 (această orizontală este sub 0°C pentru oțelurile care conțin peste 0,6% C).

Pentru fiecare temperatură, diagrama *TTT* permite stabilirea timpului corespunzător la începutul și la sfîrșitul transformării izoterme a austenitei, felul structurii rezultate, precum și duritatea acesteia. Astfel, în sensul descreșterii temperaturii, imediat sub A_1 se obține *perlita lamelară grosolană.* La temperaturi în jur de 660°C se formează o perlită mult mai fină, numită *perlită sorbitică* sau *sorbită.* La temperaturi apropiate de 500°C se obține *troostita,* structură ferito-cementitică mult mai fin dispersă. La temperaturi cuprinse între 450°C și M_S are loc transformarea bainitică, care este intermediară între transformarea perlitică și cea cartensitică. *Bainita* are o structură aciculară foarte fină și o duritate ridicată (45—55 HRC), rezistență corespunzătoare și reziliență bună.

d — *Călirea în trepte* (călirea izotermă martensitică). Constă în răcirea în băi de săruri topite fină la temperatura superioară punctului M_S (circa 250°C), urmată de menținerea pentru egalizare a temperaturii și, în final, răcirea lentă în aer liber (fig. 4.16, curba *3*). Se aplică

Scanned with OKEN Scanner

la călirea sculelor și matrițelor din oțeluri carbon de construcție și oțeluri aliate cu Cr și Mn.

e — *Patentarea* se aplică sîrmelor trefilate, benzilor sau barelor din oțel cu conținut mediu sau ridicat de carbon, după care materialul este plastic la rece, avînd în același timp și rezistență ridicată la rupere. Metoda constă în încălzirea și menținerea deasupra punctului de transformare A_3 (între 850 și 1 100°C, funcție de creșterea procentului de carbon) pentru austenitizare completă, urmată de o răcire bruscă în baie de plumb sau săruri topite (la 400—550°C), după care răcirea se încheie în aer liber.

f — *Călirea sub zero grade* este aplicată oțelurilor cu conținut ridicat de carbon sau bogat aliate (oțeluri carbon de scule, oțeluri rapide), la care punctul de sfîrșit de transformare martensitică M_f este cu mult sub 0°C. Se aplică după călirea obișnuită, în vederea transformării complete a austenitei în martensită. Se folosesc ca medii de răcire, azotul lichid, aerul lichid sau zăpada carbonică, care pot atinge temperaturi de —70°C. Se aplică sculelor, pieselor de mare precizie pentru aparate de măsură, control și cercetare, oțelurilor de rulmenți etc.

g — *Călirea locală* urmărește obținerea călirii pe zone delimitate ale piesei și constă în cufundarea parțială a piesei în mediul de răcire sau încălzirea locală a piesei în băi de săruri topite înainte de răcirea în mediul prescris.

h — *Călirea superficială se aplică oțelurilor* cu maximum 0,5% C, pentru sporirea durității și rezistenței la uzură numai în stratul de la suprafața piesei, miezul acesteia rămînînd necălit, moale și tenace, rezistent la solicitări dinamice. Funcție de sursa de căldură, se utilizează:

Călirea cu flacără constă în deplasarea, cu viteză constantă, a unui arzător oxiacetilenic de-a lungul suprafeței piesei, în vederea încălzirii la temperatura de transformare, în urma căruia un jet de apă realizează răcirea rapidă (fig. 4.19). Adîncimea de pătrundere a stratului călit poate fi 5—10 mm. Se aplică arborilor, fusurilor, bandajelor de roți pentru materialul rulant, roților dințate mari, ghidajelor etc.

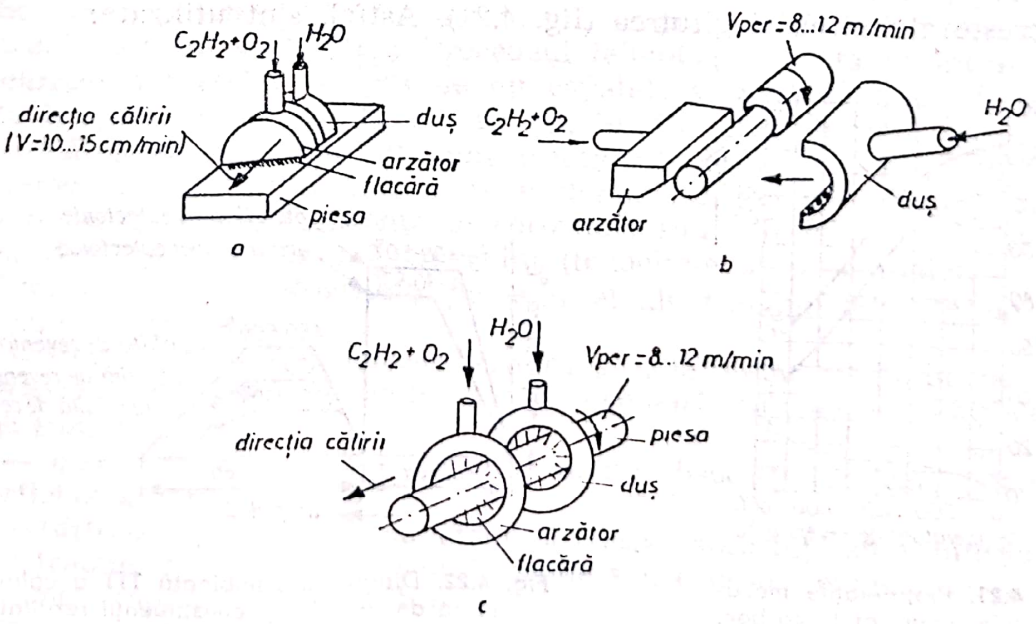


Fig. 4.19. Călirea superficială cu flacără (variante).

Scanned with OKEN Scanner

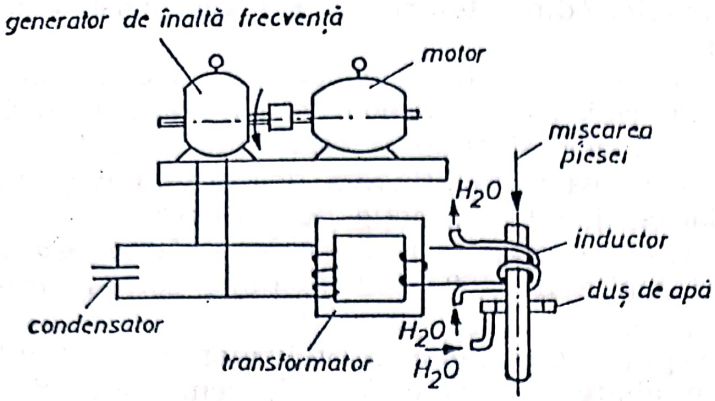


Fig. 4.20. Schema instalației de călire superficială prin CIF.

Călirea prin inducție utilizează, de obicei, curenți de înaltă frecvență (CIF), realizînd încălzirea superficială cu ajutorul unui cîmp electromagnetic alternativ, produs de un inductor care îmbracă configurația piesei în zona de călire. Temperatura de încălzire trebuie să fie cu 100—200°C peste Ac_3 (față de $Ac_3+30\ldots50$°C de la călirea obișnuită), datorită vitezei foarte mari de încălzire și timpului scurt de menținere la temperatura de călire. Răcirea suprafeței se face cu un jet puternic de apă (fig. 4.20). Se aplică la piese mici în cadrul unei producții de serie mare.

Pentru călirea unor straturi mai groase (2—20 mm) se folosesc generatoare mecanice cu frecvențe de 500—10 000 Hz. Cele cu tuburi electronice de frecvență 50 000—100 000 Hz permit obținerea de straturi călite pînă la max. 3 mm adîncime.

4.2.3.4. **Revenirea.** După călire, piesele din oțel sînt deosebit de fragile. Aplicînd tratamentul termic de revenire se realizează o stare mai stabilă a oțelurilor, eliminarea tensiunilor interne de călire și îmbunătățirea tenacității, fără diminuarea sensibilă a durității obținută la călire. Cu cît temperatura de revenire este mai ridicată (însă totdeauna sub Ac_1), cu atît scad duritatea, rezistența la tracțiune, limita de curgere și crește alungirea și gîtuirea (fig. 4.21). Astfel, sînt utilizate:

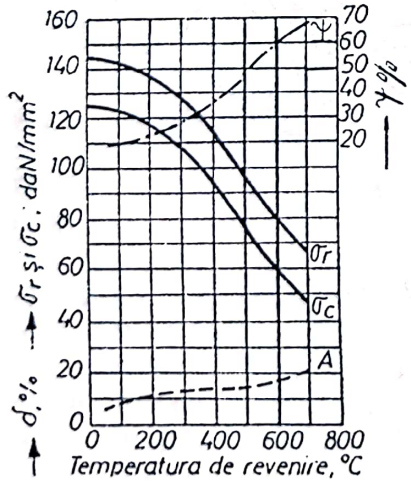


Fig. 4.21. Proprietățile mecanice ale unui oțel carbon, călit și revenit, funcție de temperatura de revenire.

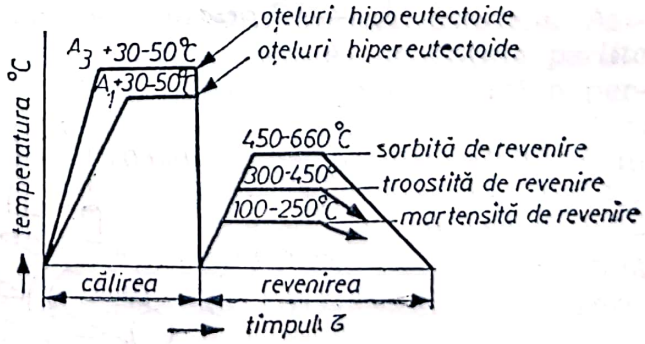


Fig. 4.22. Diagrama combinată TTT a călirii urmată de revenire și constituenții rezultați.

a — *Revenirea joasă* se aplică în intervalul 100—250°C pentru obținerea martensitei de revenire, dure și rezistente, cu o oarecare diminuare a fragilității în comparație cu a martensitei de călire (fig. 4.22). Se aplică pieselor cementate și călite, sculelor, pieselor supuse frecării etc.

b — *Revenirea medie,* în intervalul 300—450°C, permite obținerea structurii troostitice sau troostito-sorbitice de revenire, cu cementita foarte fin dispersă. Este un tratament termic utilizat mai rar, în vederea sporirii tenacității și scăderii mai pronunțate a durității.

c — *Revenire înaltă,* la 450—650°C, prin care se obține sorbita de revenire (mai stabilă), formată din cementită globulară în masa de bază feritică cu proprietăți deosebite: tenacitate ridicată și bună plasticitate, rezistență bună la rupere, limită de ungere ridicată. Se aplică organelor de mașini puternic solicitate static sau dinamic, sculelor de prelucrare la cald etc.

Tratamentul termic complet, care constă din călire urmată de revenire înceată se numește *îmbătrînire.*

4.2.3.5. **Tratamente termice ale fontelor.** În principiu sînt similare cu cele ale oțelurilor și se realizează în scopul reducerii tensiunilor de turnare prin recoacere la 400—600°C sau modificării structurii masei de bază pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice. Se aplică, după caz: recoacerea de înmuiere cu descompunerea parțială a cementitei, normalizarea, călirea și revenirea.

4.2.3.6. **Tratamente termice ale aliajelor neferoase.** În mod obișnuit, tratamentele termice se aplică aliajelor pe bază de Cu, Al, Ni și Mg și constă dintr-o recoacere de omogenizare, recoacere de recristalizare, recoacere de detensionare și călire urmată de îmbătrînire sau revenire.

Alegerea temperaturilor de încălzire se face cu ajutorul diagramelor de echilibru, funcție de caracteristicile mecanice dorite.

4.2.4. TRATAMENTE TERMOCHIMICE

Se aplică pieselor din oțel și fontă în scopul modificării compoziției chimice în stratul superficial. Procedeul tehnologic constă în încălzirea și menținerea pieselor într-un mediu capabil să pună în libertate elemente în stare activă (C, N, S, Al, Zn, Si, Cr etc.), urmate de o răcire lentă (odată cu cuptorul). Sînt tratamente de suprafață și, funcție de elementul care difuzează, piesele dobîndesc duritate mare, rezistență bună la uzură, rezistență la coroziune sau refractaritate, cu păstrarea fidelă a proprietăților miezului (tenacitate și plasticitate).

Etapele de bază (procesele elementare) ale tratamentelor termochimice sînt următoarele:

— *disocierea*-descompunerea termică a moleculelor mediului, pentru punerea în libertate a atomilor activi necesari difuziei în materialul supus tratamentului;

— *absorbția* — atracția atomilor activi disociați, de către atomii superficiali ai piesei tratate;

— *difuzia* — pătrunderea atomilor activi absorbiți spre interiorul piesei tratate, cu formare de soluții solide sau compuși chimici, conform diagramei respective de echilibru.

Fenomenul de *difuzie în stare solidă* are loc atunci cînd atomii metalului de bază sau alți atomi străini pot modifica poziția de echilibru

Scanned with OKEN Scanner

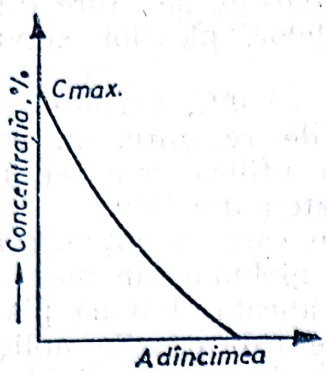


Fig. 4.23. Variația concentrației atomilor străini în profunzimea stratului difuzat.

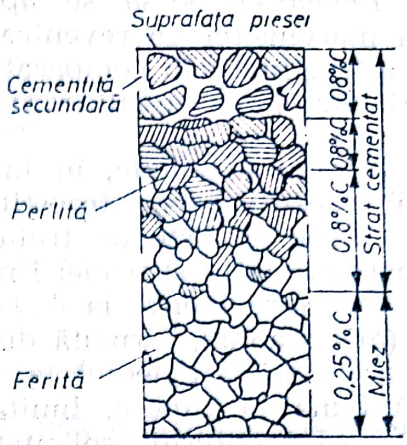


Fig. 4.24. Constituenții structurali ai oțelului cementat, înainte de călire.

a structurii, ocupînd poziții între nodurile rețelei cristaline și, de aici, spre oricare nod liber. Cea mai mare concentrație se realizează la suprafața piesei și se micșorează spre interiorul acesteia (fig. 4.23).

4.2.4.1. **Cementarea.** Se aplică oțelurilor cu mai puțin de 0,25% C (oțeluri de cementare), precum și oțelurilor de cementare aliate cu Cr, Ni, Mn și Mo. Constă în saturarea cu carbon a stratului superficial al pieselor, prin menținerea acestora la temperatură într-un mediu capabil să pună în libertate carbon activ.

Se obține la exterior o structură perlitică (eventual cu cementită secundară), după care urmează o zonă ferito-perlitică, iar miezul rămîne feritic cu conținutul de perlită corespunzător conținutului inițial de carbon al oțelului (fig. 4.24).

Întrucît cementarea este întotdeauna urmată de călire, stratul superficial obținut în final capătă o structură martensitică la exterior cu peste 60 HRC, în zona de trecere oțelul va avea o structură de martensită și ferită, iar miezul păstrează structura inițială.

a — Cementarea în mediu solid se practică folosind cutii de cementare, în care piesele sînt împachetate într-un amestec solid din circa 60% praf de mangal și 40% catalizatori (CO_3Ba, CO_3Na_2). Între 750 și 950°C are loc reacția:

$$BaCO_3 \longrightarrow BaO + CO_2 \text{ (disociere)} \quad (4.1)$$

$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO \text{ (reacția Boudouard)} \quad (4.2)$$

$$BaO + 2CO \longrightarrow BaCO_3 + C \text{ (carbon în stare nativă)} \quad (4.3)$$

Suprafețele care nu se cementează, se acoperă cu o soluție de argilă sau prin depunerea galvanică a unui strat de cîțiva microni de cupru (fig. 4.25).

Funcție de temperatura și durata tratamentului, grosimea stratului cementat poate fi de 0,6—2,0 mm.

Scanned with OKEN Scanner

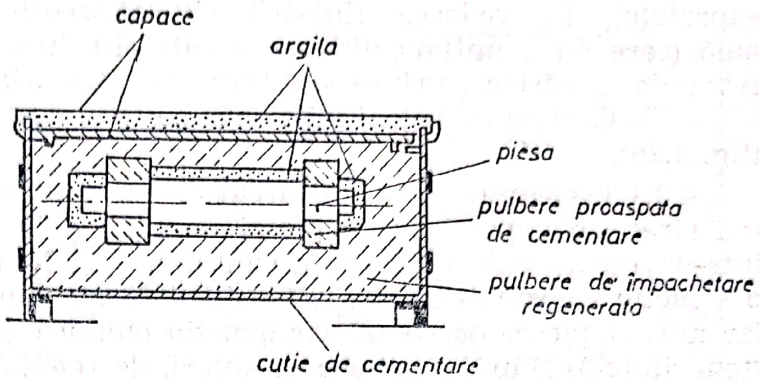


Fig. 4.25. Împachetarea în mediu solid și protecția suprafețelor care nu se cementează.

b — *Cementarea în mediu lichid,* ca de exemplu în băi de săruri topite pe bază de CO_3Na_2 (80%), se utilizează mai rar.

c — *Cementarea în mediu gazos* (la 900—950°C) constă în folosirea unui amestec de gaze (C_2H_2, CH_4, CO_2 etc.), capabile să pună în libertate carbon activ. În țara noastră se folosește îndeosebi gazul natural, caz în care, datorită purității ridicate (93—99,8%) cutiile de cementare sînt racordate direct la rețea.

Cementarea în mediu gazos prezintă o serie de avantaje: durata procesului disociere-absorbție-difuzie este mult redusă; stratul cementat este mai adînc și uniform; permite călirea imediat după carburare; costul este redus prin durata tratamentului și eliminarea operațiilor de împachetare a pieselor; suprafața este netedă, fără oxizi, aderențe sau depuneri.

4.2.4.2. **Nitrurarea.** Urmărește saturarea cu N a stratului superficial și constă în încălzirea și menținerea pieselor la o temperatură inferioară punctului critic Ac_1, într-un mediu capabil să pună în libertate azot activ.

Se aplică pieselor din oțel și fontă (obținîndu-se un strat superficial din nitruri de fier cu duritate ridicată, rezistență foarte bună la uzură și la oboseală, cum și o bună rezistență la coroziune), însă rezultatele cele mai bune la nitrare se obțin la oțelurile aliate (0,3—0,5% C; 1,5% Cr; 0,6—1,2 Al; 0,25% Mo și Va).

În industrie se utilizează nitrurarea cu amoniac, în cuptoare cu atmosferă controlată sau în cutii de nitrurare. În timpul încălzirii se produce disocierea amoniacului și se obține azotul activ:

$$2\ NH_3 \longrightarrow 3H_2 + 2N \qquad (4.4)$$

Nitrurarea se produce la 500—600°C cu menținere timp de 20—90 ore, funcție de adîncimea necesară a stratului nitrurat. Astfel, pentru obținerea unei pătrunderi a nitrurilor de 0,4 mm, la o temperatură de nitrurare de 510°C, este necesară o menținere de 45—48 ore.

Datorită formării nitrurilor de fier și de alte elemente, stratul nitrurat are o foarte mare duritate (circa 1 000 de N/mm²), care nu mai poate fi obținută prin alte tratamente termice sau termochimice. Stratul este stabil la coroziune în aer, apă și în atmosferă de abur.

După nitrurare, poate fi executată numai prelucrarea prin rectificare a

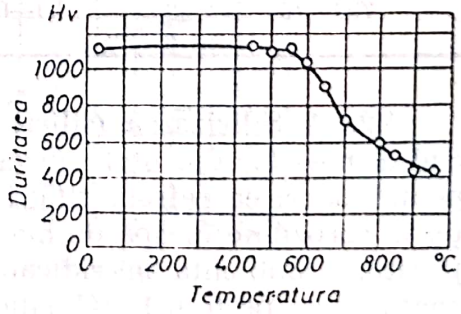


Fig. 4.26. Influența temperaturii de încălzire după nitrurare, asupra durității de suprafață a oțelului.

suprafeței, în vederea finisării și readucerii piesei la cota nominală (care s-a „umflat" din cauza nitrării). Stratul nitrurat are proprietatea de a păstra duritatea obținută și după încălziri repetate pînă la 650—670°C și numai la încălzirea peste această limită scade duritatea (fig. 4.26).

4.2.4.3. **Cianurarea (cianizarea) și carbonitrurarea.** Constă în saturarea stratului superficial al piesei de oțel, prin încălzirea și menținerea într-un mediu care poate ceda simultan C și N în stare nativă. Se obține o structură austenitică și martensitică foarte dură și rezistentă la uzură, iar miezul piesei păstrează compoziția chimică și proprietățile anterioare (tenacitatea). După cianurare se aplică, de regulă, călirea în apă. Se utilizează pentru oțelurile cu crom și cu crom-nichel.

a — Cianurarea în mediu lichid se obține în băi de săruri topite cu un conținut în soluție de 15—35% cianuri (cianură de sodiu — NaCN, de potasiu — KCN, de calciu — $Ca(CN)_2$ ferocianură de potasiu — $K_4Fe(CN)_6$ în amestec cu 60—85% adaosuri de cloruri sau carbonați (sodă — Na_2CO_3, clorură de sodiu — NaCl, clorură de calciu — $CaCl_2$ clorură de bariu $BaCl_2$ ș.a.). Adaosurile au rol catalitic, de fluidizare și de reducere a degajării vaporilor foarte toxici.

b — Cianurarea în gaze (carbonitrurarea) se aplică oțelurilor de construcție (cu maximum 0,5% C), într-un amestec de 70—80% gaz de cementare (metan sau alte similare) și 20—30% amoniac, pentru sporirea durității de suprafață, a rezistenței la uzură și oboseală. Sporul de duritate se datorează azotului și aceasta poate atinge valori de 900—1 000 daN/mm².

Date privind parametrii regimului de lucru și caracteristicile obținute prin cianurare pentru un oțel cu conținut mediu de carbon sînt prezentate în tabelul 4.1.

TABELUL 4.1

Parametrii regimului de lucru și caracteristicile unui oțel cu % redus de carbon, după cianurare

Temperatura de cianurare, °C	Durata procesului, ore	Adîncimea stratului cianurat, mm	Duritatea, HRC
820—830	1,5	0,25—0,30	56—62
820—830	2,0	0,30—0,40	56—62
820—830	3,0—5,0	0,40—0,50	56—62
700—750	1,0—3,0	0,05—0,10	cu pila etalon
700—750	3,0—6,0	0,10—0,30	Idem

4.2.4.4. **Silicizarea (silicierea).** Constă în saturarea stratului superficial al pieselor din oțel sau de fontă cu Si pînă la 12—15%. Se folosește pentru sporirea refractarității metalului (pînă la 800—850°C) și rezistenței la coroziune în apă de mare, acid azotic, sulfuric și clorhidric, la temperatură ambiantă și ridicată (pînă la 80—100°C). La oțelurile cu un conținut de peste 0,4% C, silicierea sporește și duritatea.

La oțelurile cu conținut mediu și ridicat de carbon stratul obținut este poros; în cazul lagărelor silicizate (950—1 050°C) și fierte în ulei

Scanned with OKEN Scanner

(120—170°C), acestea devin autolubrifiante cu o rezistență la uzură de 5—6 ori mai mare decît cele prin cementare.

Un caz particular este silicizarea oțelurilor aliate cu molibden pentru construcția cuptoarelor electrice. În stratul superficial al elementelor de rezistență difuzează siliciul, rezultînd $MoSi_2$ cu proprietăți refractare bune la 1 700°C în aer sau atmosferă oxidantă.

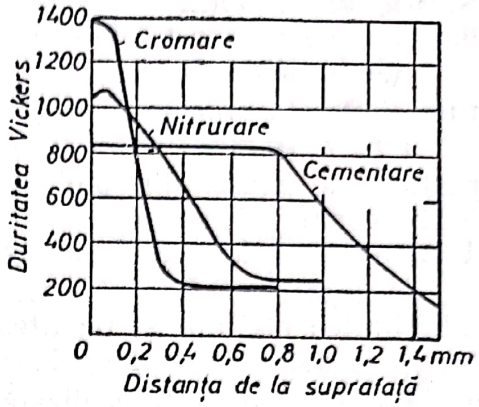


Fig. 4.27. Valoarea durității straturilor cromate, comparativ cu cementarea și nitrurarea (oțel 0,45% C).

4.2.4.5. **Cromarea prin difuziune (cromizarea).** Este o metodă de tratament termochimic prin care se introduc atomii de crom în stratul superficial al pieselor din oțel și fontă, în vederea sporirii rezistenței la uzură, coroziune și oxidare la temperaturi ridicate.

Compoziția cea mai adecvată, care degajă cromul atomic la 840°C, este clorura de crom $CrCl_2$. În contact cu Fe, vaporii de crom dau reacția de schimb:

$$CrCl_2 \text{ (vapori)} + Fe \text{ (cristale)} = FeCl_2 \text{ (vapori)} + Cr \text{ (în stratul superficial)} \quad (4.5)$$

Cromul, care se degajă la reacție, difuzează în straturile superficiale, formînd cu fierul o serie neîntreruptă de soluții solide.

Prin cromare se realizează o concentrație sporită a carbonului în zona de suprafață, iar în zona imediat vecină, o concentrație mai mică decît a materialului de bază. În figura 4.27 este reprezentată valoarea durității suprafețelor cementate, nitrurate și cromate pentru același oțel.

4.2.4.6. **Aluminizarea (alitarea).** Tratamentul constă în difuziunea aluminiului, în stare de atom activ, în stratul superficial al pieselor din oțel, în cadrul unui regim termic de 900—950°C. Se aplică oțelurilor carbon de construcție, în scopul înlocuirii aliajelor refractare bogat aliate.

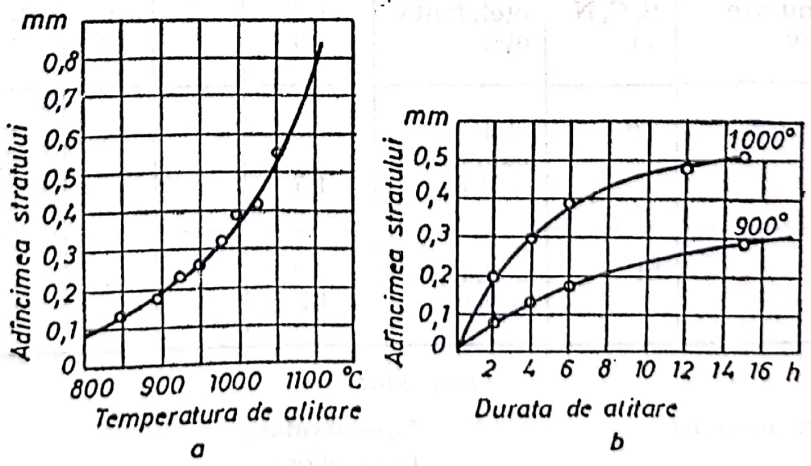


Fig. 4.28. Influența temperaturii și duratei procesului de alitare asupra adîncimii stratului alitat.

Scanned with OKEN Scanner

Stratul alitat obținut este foarte rezistent la temperaturi înalte (800—900°C, uneori chiar 1 000—1 100°C).

Adîncimea stratului alitat (0,4—0,5 mm) este dependent de temperatura și durata procesului (fig. 4.28).

4.2.4.7. **Borarea.** Constă în difuzarea la 900°C a borului în stratul superficial al piesei din oțel și obținerea borurii de fier (Fe_2B) a cărei duritate are valori deosebite (uneori nu poate fi măsurată; însăși vîrful de diamant nu lasă urme la o sarcină de 9 daN).

În procent de numai 0,01, borul, deși nu schimbă structura, sporește călibilitatea oțelului și facilitează formarea unei granulații fine (mai cu seamă la oțelurile rapide), însă diminuează plasticitatea la cald.

Borarea poate fi realizată în mediu solid (pulberi conținînd bor), în mediu lichid (băi de săruri în care se introduce ferobor sau carbură de bor) sau prin metoda electrolitică (folosind $Na_2O_7B_4$).

TABELUL 4.2

Tratamente termochimice utilizate frecvent în industrie

Nr. crt.	Tratamentul termochimic	Elementul care difuzează	Materialul metalic tratat	Grosimea stratului saturat, mm	Mediul de tratament			Sporirea performanțelor la:
					Solid	Lichid	Gazos	
1	Cementare	C	oțel	0,5—2,0	×	×	×	U, O, H
2	Nitrurare	N	oțel, fontă	0,8	×	×	×	U, O, H C, R
3	Cianurare	C, N	oțel	0,2	×	×		U, O
4	Carbonitrurare	C, N	oțel	0,8			×	U, O
5	Aluminizare (alitare)	Al	oțel, fontă	0,3—1,0	×	×	×	C, H, R_0
			cupru, bronz, alamă	0,05	×	×		M, E, R_0
6	Cromizare	Cr	oțel	0,2	×		×	C, R_0, H, U
7	Borare	B	oțel	0,15	×	×	×	H, U
8	Sulfocianurare	S, C, N	oțel, fontă	0,16		×	×	U, O
9	Titanizare	Ti	oțel	0,3		×	×	C
10	Sherardizare	Zn	oțel	0,1		×	×	U
			cupru, alamă	1,5	×			H, E
11	Siliciere	Si	oțel, fontă	0,5—0,9	×	×	×	C, U, R_0
			cupru	1,2	×		×	H, R_0

Legendă:

M — solicitări mecanice
H — duritate
C — coroziune
E — estetică
R_0 — oxidare
O — oboseală
R — refractaritate
U — uzură

Scanned with OKEN Scanner

Pe lîngă o duritate înaltă (60—68 HRC), stratul superficial posedă și o mare rezistență la uzură. După borare, piesele sînt supuse călirii la temperatură ce nu depășește 950°C. La oțelurile cu conținut de carbon sub 0,4%, apare, însă, o infimă scădere a durității după călire.

Dintre celelalte metode de tratament termochimic, care se utilizează în industrie, ar mai putea fi menționate:

Sherardizarea este saturarea cu Zn, prin difuziune în stratul superficial al pieselor din oțel și fontă, în vederea sporirii rezistenței la uzură. Stratul obținut este poros și, astfel, mai puțin rezistent la coroziune decît depunerea prin zincare pe cale electrolitică (galvanizare) sau prin imersie în băi de zinc topit.

Sulfizarea constă în saturarea cu S, prin difuziune în stratul superficial al pieselor din oțel, în scopul sporirii rezistenței la uzură și evitării fenomenului de gripare.

Sulfocianurarea se realizează prin difuziunea simultană a sulfului, azotului și carbonului în stratul superficial al pieselor din oțel, în băi de săruri topite, în vederea sporirii proprietăților la uzură și gripare.

În tabelul 4.2 sînt prezentate principalele tratamente termochimice utilizate frecvent în industrie.

5

PRINCIPALELE MATERIALE METALICE ȘI NEMETALICE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ ȘI ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

A. MATERIALE METALICE

5.1. OȚELURI

Datorită varietății mari de proprietăți ce pot fi obținute la concentrații diferite în carbon și posibilității alierii cu alte elemente, oțelul este cel mai utilizat material metalic. În ultimul timp au fost elaborate oțeluri cu rezistențe la rupere pînă la 300 daN/mm² ce pot fi utilizate între 100 ... 1 500 K. În figura 5.1 este prezentată o clasificare după compoziția chimică.

5.1.1. OȚELURI CARBON

În afară de Fe și C conțin numai *elemente însoțitoare* — impurități al căror conținut maxim este limitat de calitatea și domeniul de utilizare al oțelului. Sînt exceptate elementele care participă la procesul de elaborare și turnare (Mn, Si, Al) sau cele introduse pentru sporirea stabilității în timp (Al, Ti), mărirea așchiabilității (S, P, Pb) sau coborîrea pragului de fragilitate la rece (Al).

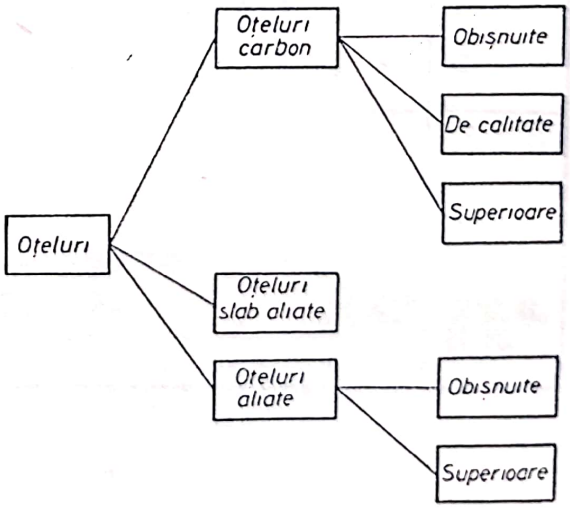


Fig. 5.1. Clasificarea oțelurilor după compoziția chimică.

Scanned with OKEN Scanner

Oțel carbon obișnuit necalmat, semicalmat sau calmat este utilizat la construcții de mașini, construcții metalice sau ca „fier beton", livrat cu sau fără garantarea proprietăților mecanice și compoziției chimice.

Oțel carbon de calitate, cu proprietățile mecanice și compoziția chimică garantate (maximum 0,045% sulf și fosfor, fiecare) este de obicei tratat termic.

Oțel carbon superior, cu un conținut maxim de 0,035% sulf și fosfor fiecare, cu structură impusă (mărimea grăuntelui austenitic, profunzimea călirii) și cu conținut minim de incluziuni.

5.1.2. OȚELURI SLAB ALIATE

Conțin elemente de aliere în cantități minime, cu proprietăți fizico-chimice și caracteristici mecanice sporite. Participarea a cel puțin unuia din elementele de aliere poate fi următoarea: 0,5 ... 1,1% Si; 0,8 ... 1,8% Mn; 0,3 ... 0,5% Cr sau Ni; 0,05 ... 0,1% V sau Mo; 0,2 ... 0,3% W sau Co. Sînt folosite frecvent în construcții de mașini și construcții metalice.

5.1.3. OȚELURI ALIATE

Sînt cele medii și înalt aliate, tratate termic, care conțin cel puțin unul din elementele de aliere peste limita superioară admisă la oțelurile slab aliate. Este considerat oțel aliat și oțelul cu o concentrație mai mare decît în cazurile: Al > 0,3%; Ti > 0,04%; B > 0,0005%; Cu > 0,4%; Pb > 0,4%. Ca oțel înalt aliat se consideră și cel pentru care suma concentrațiilor în diferitele elemente de aliere este peste 10% sau una din aceste concentrații mai mare decît limitele: Si, Mn și Cr cîte 6%; Ni 4,5%; W 4%; Mo, Co și V cîte 1%.

În figura 5.2 sînt prezentate principalele categorii de oțeluri clasificate după destinație. Pentru ușurarea alegerii, mărcile de oțel sînt grupate și standardizate.

5.2. FONTE

În figura 5.3 este reprezentată o clasificare generală a fontelor.

5.2.1. FONTE CENUȘII CU GRAFIT LAMELAR

Fonte cu rezistență mecanică mică (Fc 10; Fc 15). Au masa metalică de bază ferito-perlitică și grafitul lamelar și neomogen repartizat. Sînt folosite pentru turnarea elementelor de mașini de configurație simplă, solicitate la eforturi reduse.

Fonte cu rezistență mecanică medie (Fc 20, Fc 25). Au masa metalică de bază perlitică sau sorbitică și grafit lamelar fin. Sînt destinate turnării pieselor ce lucrează la solicitări statice medii.

Fonte cu rezistență mecanică ridicată (Fc 30; Fc 35; Fc 40). Au masa metalică de bază sorbitică și grafit lamelar fiind uniform dispers.

Scanned with OKEN Scanner

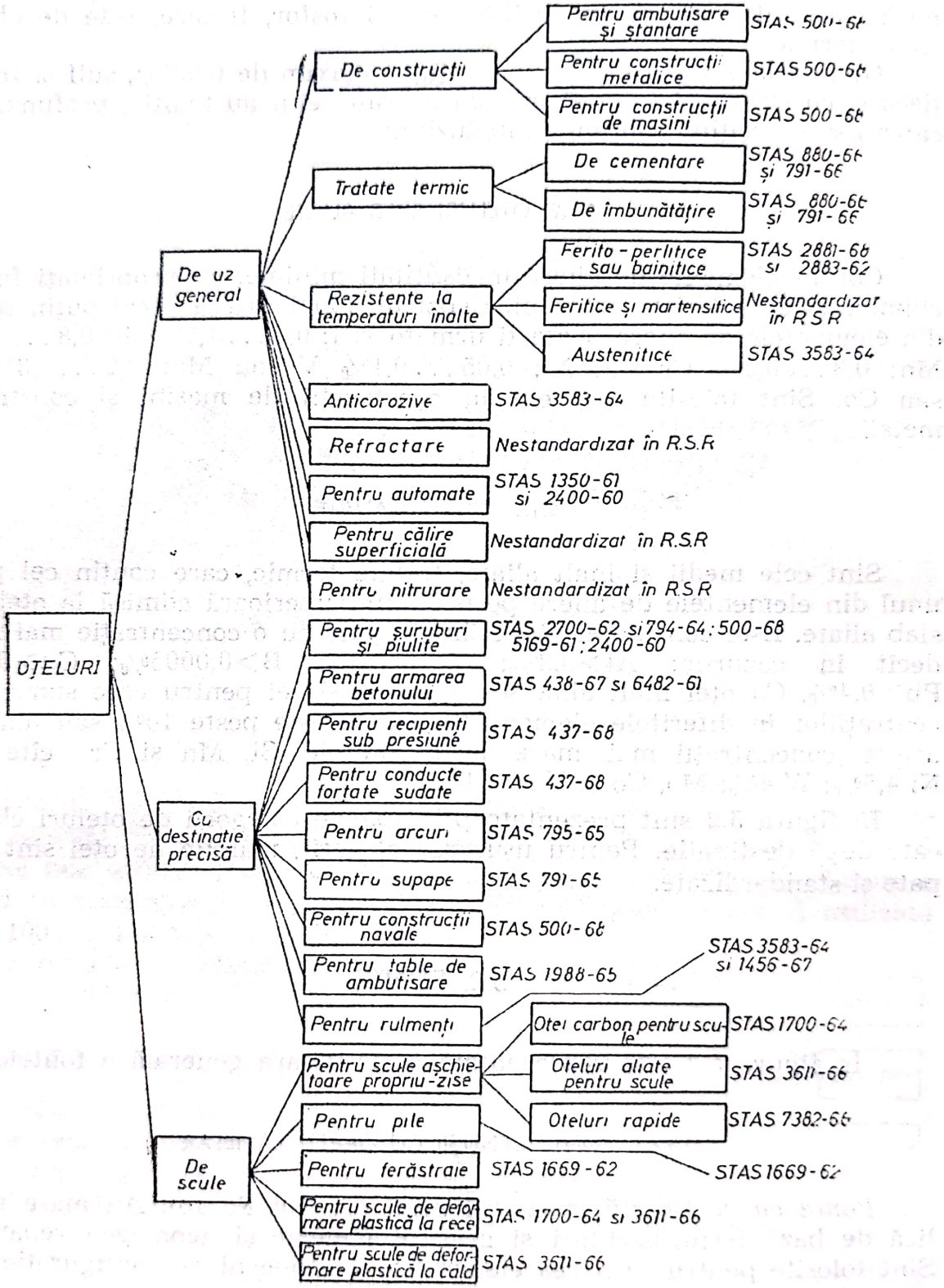


Fig. 5.2. Clasificarea oțelurilor după destinație.

Scanned with OKEN Scanner

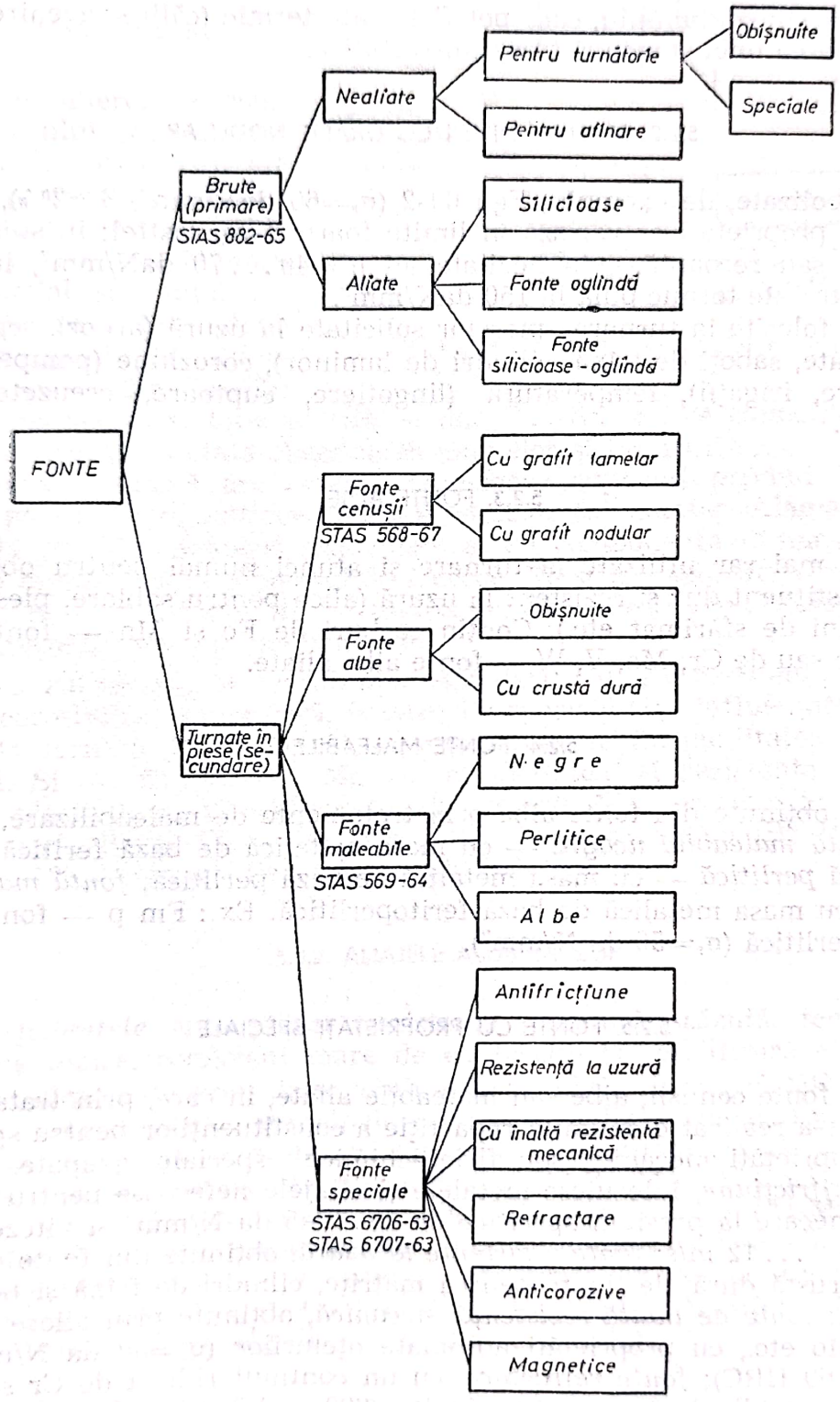


Fig. 5.3. Clasificarea generală a fontelor.

Scanned with OKEN Scanner

Fabricate în număr mare de tipuri, au o rezistență bună la rupere și la uzură, uzinabilitate bună.

În această grupă intră și fontele modificate cu fero-siliciu, silico-calciu sau silico-aluminiu, care pot fi tratate termic (călire-revenire) pentru obținerea unei structuri troostito-sorbitică.

5.2.2. FONTE CENUȘII CU GRAFIT NODULAR

Simbolizate, de exemplu, Fgn 60-2 (σ_r=60 daN/mm^2; δ=2%), aceste fonte au proprietăți ce variază în limite foarte largi, astfel: în stare normalizată sau recoaptă, cele nealiate au σ_r=40 ... 70 daN/mm^2, iar cele aliate și tratate termic pînă la 150 daN/mm^2.

Sînt folosite la turnarea pieselor solicitate la uzură (arbori, segmenți, roți dințate, saboți de frînă, cilindri de laminor), coroziune (pompe, nave, canalizare, irigații), temperatură (lingotiere, cuptoare, creuzete, matrițe) etc.

5.2.3. FONTE ALBE

Sînt mai rar utilizate la turnare și atunci numai pentru obținerea unui constituent dur și rezistent la uzură (alice pentru sablare, piese pentru mașini de sfărîmat etc.). Conțin carburi de Fe și Mn — fonte albe obișnuite sau de Cr, Mo, V, W — fonte albe aliate.

5.2.4. FONTE MALEABILE

Sînt obținute din fonte albe prin tratamente de maleabilizare, rezultînd: *fontă maleabilă neagră* — cu masa metalică de bază feritică; *fontă maleabilă perlitică* — cu masa metalică de bază perlitică; *fontă maleabilă albă* — cu masa metalică de bază feritoperlitică. Ex.: Fm p — fontă maleabilă perlitică (σ_r=50 da N/mm^2).

5.2.5. FONTE CU PROPRIETĂȚI SPECIALE

Sînt fonte cenușii, albe sau maleabile aliate, în care, prin tratamente termice, s-a realizat o anumită repartiție a constituenților pentru sporirea unor proprietăți mecanice sau fizico-chimice speciale, grupate astfel: *fonte antifricțiune,* înlocuiesc metalele și aliajele neferoase pentru lagăre prin alunecare la presiuni specifice de 20 ... 45 da N/mm^2 și viteze periferice de 2 ... 12 m/s; *fonte rezistente la uzură,* obținute din fonte cenușii sau cu crustă dură, destinate pentru matrițe, cilindri de frînă și tamburi auto etc.; *fonte de înaltă rezistență mecanică,* obținute prin aliere cu Ni, Cr, V, Mo etc., cu proprietăți apropiate oțelurilor (σ_r=80 da N/mm^2 și duritate 60 HRC); *fonte refractare,* cu un conținut ridicat de Cr sau Ni, sînt termostabile la temperaturi înalte (800 ... 1 000°K); *fonte anticorosive,* aliate cu Si, Cr, Ni sau Cu, au proprietăți deosebite cele cu structură grafito-austenitică, utilizate în industria chimică; *fonte cu proprietăți magnetice,* obținute funcție de structura masei metalice de bază; ex.: ferita și alierea cu Ni favorizează feromagnetismul, iar austenita paramagnetismul.

Scanned with OKEN Scanner

5.3. ALIAJE ALE METALELOR NEFEROASE

5.3.1. ALIAJELE CUPRULUI

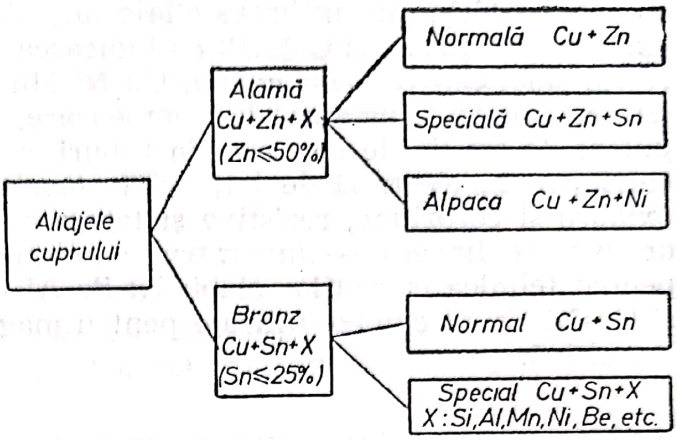


Fig. 5.4. Clasificarea aliajelor din cupru.

Prin aliere, *deficientele* cuprului (turnabilitate redusă, anticorosivitate slabă, proprietăți mecanice relativ reduse $\sigma_r = 25 \ldots 35$ da N/mm^2) sînt parțial sau total înlăturate, rezultînd două mari categorii de aliaje: *alama* (Am — din Cu—Zn și alte elemente) și *bronzul* (Bz — din Cu—Sn și alte elemente). În figura 5.4 este prezentată clasificarea alamelor și bronzurilor.

Alama normală are calități superioare cuprului privind turnabilitatea, plasticitatea, anticorosivitatea și aspectul estetic. Alama specială prezintă, în plus, însușiri imprimate și de componenta ternară *X*. Astfel, Pb micșorează coeficientul de frecare, Fe și Mn sporește rezistența la rupere, Al — duritatea, Si — fluiditatea, Sn — anticorosivitatea, Ni îmbunătățește aspectul și structura etc.

Bronzul normal se toarnă mai ușor decît Cu, are rezistență mecanică și anticorosivitate superioară. Bronzurile speciale sînt influențate de componenta ternară *X*, astfel: Al — îmbunătățește turnabilitatea și plasticitatea, Si — fluiditatea, Mn — elasticitatea și rezistența electrică, Pb — plasticitatea și coeficientul de frecare, Ni — rezistența mecanică și electrică, Be și Ti — în special rezistența mecanică (Bz Be 3, $\sigma_r = 65 \ldots 125$ daN/mm^2; Bz Ti 4, $\sigma_r = 150$ daN/mm^2).

5.3.2. ALIAJELE ALUMINIULUI

Deficientele aluminiului (rezistența mecanică scăzută, temperatura mică de topire, coeficient mare de contracție la solidificare etc.) pot fi sensibil diminuate prin aliere, obținîndu-se aliaje cu proprietăți noi, utile într-un larg domeniu. Principalele grupe de aliaje ale aluminiului, pot fi: *aliaje de aluminiu cu proprietăți mecanice superioare* (Al-Cu-Mg cunoscute sub denumirea de duraluminiu, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu), cu $\sigma_r = 50 \ldots 60$ daN/mm^2; *aliaje de aluminiu anticorosive* (Al-Mn, Al-Mg și Al-Mg-Si); *aliaje antifricțiune din aluminiu* (Al-Sb-Pb, Al-Sn, Al-Cu-Si-Fe); *aliaje de aluminiu rezistente la temperaturi ridicate* (Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li); *aliaje de aluminiu rezistente la temperaturi scăzute* (Al-Cu-Mg-Si, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Mg).

5.3.3. ALIAJELE NICHELULUI

Se caracterizează printr-o mare rezistență electrică, forță termoelectromotoare, permeabilitate magnetică înaltă, dilatare termică foarte mică, refractaritate și rezistență la temperaturi ridicate, rezistența la oxidare și

Scanned with OKEN Scanner

coroziune. Cele mai utilizate aliaje din nichel sînt: Cu-Ni-Zn — *alpaca*, ex.: APC 64.12 ... APC 16.18 cu indicarea procentului de cupru și nichel, restul zinc; Cu-Ni-Al — *cunial;* Cu-Ni-Mn — *constantan, manganin,* pentru rezistențe, elemente de compensare, termoelemente; Ni-Mn — cu putere de emisie de electroni în tuburi catodice, utilizate în radiotehnică ca și pentru electrozi de bujii și termoelemente; Ni-Cr — rezistente la oxidare și coroziune, rezistive și termorezistive; Ni-Fe — coeficient mic de dilatare lineară — *invar;* permeabilitate magnetică mare — *permalloy* pentru tehnica curenților slabi; Ni-Fe-Al — *alni,* Ni-Fe-Al-Co — *alnico* și Cu-Ni-Co — *cunico* utilizate pentru magneți permanenți cu mare forță coercitivă.

5.3.4. ALIAJELE MAGNEZIULUI

Prin aliere, componenta termară X îmbunătățește *deficiențele* magneziului (anticorosivitate, plasticitate și însușiri mecanice reduse). Astfel: Al — îmbunătățește proprietățile mecanice, Mn — anticosivitatea și sudabilitatea, Zn — plasticitatea, Si — stabilitatea chimică. Aliajele principale ale magneziului sînt: Mg-Al-Mn-Zn, Mg-Al-Mn-Cu-Zn (electron).

5.3.5. ALIAJE ANTIFRICȚIUNE

Un aliaj antifricțiune trebuie să confere rezistență la uzură prin frecare, coeficient de frecare mic, o bună conductibilitate termică, temperatură de topire scăzută, turnabilitate bună, cost de producție redus etc. Se compune din doi constituenți: plastic (Sn-Pb) și dur (Sb). Denumirea o dă constituentul plastic determinant, exemplu: pe bază de plumb — YPb, pe bază de staniu — YSn; unde Y este simbolul aliajelor antifricțiune.

B. MATERIALE NEMETALICE

5.4. MASELE PLASTICE

Masele plastice au o structură amorfă, în a căror constituție intră:

a) *rășina* — cu rol de liant, de tipul termoplaste sau termorigide;

b) *materialul de construcție* — scheletul formei piesei din praf sau fibre de origină naturală sau sintetică;

c) *plastifiantul* — sporește elasticitatea și plasticitatea;

d) *coloranții* (pigmenții) — rezistenți la acțiunea luminii și temperaturii;

e) *substanțele lubrifiante* — cu rol de evitare a aderării pe uneltele de prelucrare;

f) *materiale auxiliare* — pentru neutralizarea reziduurilor de catalizatori acizi rămași în masa plastică.

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere tehnologic și al domeniului de aplicare, pot fi:

— *polietilena,* hidrocarbură parafinică obținută din polimerizarea etilenei ca monomer de bază, derivat al gazului metan; material termoplast, utilizat în domeniul curenților de înaltă frecvență, izolarea cablurilor marine etc.;

— *teflonul* (poli-tetra-fluor-etilenă), rezistent la acțiunea metalelor alcaline, stabilitate termică de durată la circa 230°C;

— *policlorura de vinil* — rășinile de acest tip se folosesc la izolarea cablurilor, confecționarea țevilor și căptușelilor;

— *polistirenul* — rășină din grupa polimerilor vinilici obținută prin polimerizarea stirenului; folosit pentru roți dințate de contoare, aparate silențioase;

— *poliamidele* — materiale termoplaste care conțin grupa amidică, denumite *nilon,* iar în comerț relon, kapron etc.; proprietăți elastice și mecanice deosebite; utilizate pentru izolatori diverși, protecție cabluri, lagăre fără ungere, roți dințate silențioase etc.

5.5. CAUCIUCUL

Este un produs macromolecular-*elastomer,* cu o infimă alungire remanentă. Cauciucul natural (brut) se obține din *latex* prin diverse metode de coagulare, avînd proprietăți mecanice slabe și solubilitate mare în solvenți organici, este inutilizabil în industrie. Prin polimerizare, uneori policondensare, a unor monomeri, se obțin cauciucurile sintetice (brute): polibutadienic, butadienstirenic etc., precum și caciucul românesc CAROM-30-R, cu proprietăți asemănătoare cauciucului natural.

Cauciucul industrial cu proprietăți fizico-mecanice superioare se obține din cauciuc brut prin vulcanizare la 400—500 K, în urma unui adaos 2—12% S, care modifică structura chimică, cu trecerea din stare plastică în stare elastică. Se mai adaugă acceleratori de proces, ingrediente active (negru de fum) pentru sporirea rezistenței la explozie și la uzură, ingrediente pasive (talc și caolină) pentru reducerea costului, plastifianți cu rol de sporire a viscozității și rezistenței la temperaturi joase, antioxidanți pentru frînarea îmbătrînirii, coloranți și cauciuc regenerat.

Funcție de compoziția amestecului și de regimul de lucru pentru formare și vulcanizare, cauciucul poate fi utilizat sub formă de: *spongios nevulcanizat,* pentru clei, pastă de etanșare (ermetic) sau unsori; *spongios vulcanizat,* pentru amortizare, garnituri și straturi protectoare la coroziune; *vulcanizat moale* sub formă de profile, inele de etanșare etc.; *armat,* cu rezistență sporită și limitare a elasticității.

5.6. AZBESTUL

Este o rocă fibroasă din grupa *amfibolilor* (mineral de contact eruptiv) sau din grupa *serpentinului* fibros (mineral rezultat în urma unui îndelungat proces de hidroliză a silicatului de Mg). Azbestul brut cuprinde, în amestec: Si 42—59%; Mg 21—41%; cantități reduse de oxid de Fe și apă de absorbție și de constituție 1—40%.

Scanned with OKEN Scanner

Proprietățile fizice și chimice se păstrează pînă la 500°C, iar la 700°C pierde apa de cristalizare și proprietățile fizico-mecanice; la 1 150—1 550°C se topește.

Prelucrarea azbestului constă în filare (fire și țesături din azbest), presare (garnituri) sau impregnare (izolații termice și electrice).

Principalele produse din azbest utilizate în tehnică sînt: fibre din azbest și celuloză — filtre; țesături din azbest și bumbac — îmbrăcăminte de protecție termoizolatoare; plăci din azbest — izolator termic la temperaturi înalte, difragme hidro și electroizolatoare; inele de fricțiune, garnituri și benzi de frînă; klingherit — amestec de azbest și cauciuc de inserție, pentru etanșare; azbo-ciment, fibre din azbest, ciment și apă, ca plăci aglomerate sau expandate, bun izolator în construcții.

5.7. STICLA

Material amorf și termoplast, rezultat din topirea componentelor: *vitrifianți* (SiO_2), formează osatura; *fondanți* (Na_2O și K_2O), coboară temperatura de topire; *stabilizatori* (MgO, Al_2O_3, PbO), sporesc duritatea, rezistența mecanică și stabilitatea chimică; *transparenți* (KNO_3); *coloranți* (oxizi ai diferitelor metale).

Procesul tehnologic de elaborare a sticlei constă în: prepararea încărcăturii (curățirea, uscarea, măcinarea), încărcarea în cuptor în ordinea strictă a rețetei, fierberea la 1 200—1 500°C în creuzete timp de 10—15 ore.

Procedeele tehnologice de prelucrare a sticlei sînt: *turnarea* în forme metalice; *laminarea* cu unul sau doi cilindri, urmată în unele cazuri de armarea sticlei; *presarea* în forme; *tragerea* pentru fabricarea barelor, țevilor și geamurilor; *suflarea* pentru volume cu pereți subțiri. Toate produsele din sticlă sînt supuse *recoacerii* la 500—550°C pentru eliminarea tensiunilor interne.

Domeniul de utilizare îl constituie produsele industriale și de larg consum: *sticla tehnică* pentru iluminat, aparate chimice și optică; *sticla obișnuită* — geamuri, sticla armată, de ambalaje; *securitul* — sticlă tratată termic astfel ca la șocuri să se spargă în cioburi mici fără proeminențe; *triplexul* — în industria automobilelor ca și securitul, obținut din lipirea a două foi din sticlă, cu peliculă plastică intermediară, la 100°C și presiune 10—20 daN/cm^2.

5.8. PIELEA

Datorită rezistenței ridicate și capacității de a suporta încovoieri alternate, pielea a rămas unul din materialele importante utilizate în tehnică.

Pielea tehnică se fabrică din piei crude de animale, prin *tăbăcire* în substanțe vegetale (tananți, din coaja de copac) sau minerale (săruri de crom), obținîndu-se mai ales în ultimul caz, o piele moale, flexibilă și rezistentă la tracțiune. După curățirea de substanțele de tăbăcire, se impregnează cu materii grase.

Scanned with OKEN Scanner

Este utilizată pentru: transmisii flexibile (curele de mașini de rectificat), garnituri pentru roți de fricțiune și pentru frîne, garnituri de etanșare pentru prese și compresoare și pentru pompe, vane, robineți care lucrează în medii petroliere, roți dințate fără zgomot etc.

5.9. LEMNUL ȘI PRODUSELE LEMNOASE

Este un material de structură complexă și neomogenă, compus din țesături fibroase între care se află o rețea densă de vase capilare umplută cu sevă și substanțe rășinoase.

Proprietățile sînt determinate de structura fibroasă a lemnului (anizotropie), esența, gradul de uscare, vîrsta arborelui, locul ocupat în tulpină etc. Sporirea proprietăților materialelor lemnoase folosite în industrie se obține prin uscare, aburire, cojire, impregnare cu substanțe fungicide și insecticide, ignifugare etc.

Lemnul și produsele din lemn se utilizează într-o gamă largă de semifabricate: *lemnul natural* — rotund cojit, cherestea, prelucrat; *furnirul* — folii din lemn; *lemnul stratificat* — prin suprapunere a 3—8 folii, încleiere și presare: placaje, panel; *pal*-ul — produs din așchii aglomerate cu liant și presate, în formă de plăci; *bachelita* — prin impregnarea pieselor din lemn cu soluții alcoolice sau cu emulsii din rășină fenolformaldehidă, în autoclave la 60°C și presiune de 7 daN/cm², cu uscare la 130°C; este folosită ca izolator de joasă și înaltă tensiune și pentru bucșe, roți dințate, elemente de instalații chimice rezistente la acțiunea acidului sulfuric și acidului fosforic pînă la 100°C; *lignofolul* — pentru lagăre cu durată de exploatare de 15 ori mai mare ca cele din bronz și uzura fusurilor de 5 ori mai mică; *lignostolul* — prin presarea la cald a plăcilor de lemn din mesteacăn impregnate cu rășini formaldehidice, utilizat în construcția de mașini textile și ca înlocuitor al bronzurilor de lagăre.

Scanned with OKEN Scanner

6

PRELUCRAREA PRIN AGREGATE DE PULBERI (METALURGIA PULBERILOR)

6.1. PULBERI METALICE, PROPRIETĂȚI

Pulberile metalice sînt materialele formate din particule (granule) de metale pure, aliaje, compuși intermetalici, compuși chimici ai metalelor sau din amestecuri mecanice ale mai multor componenți. Dimensiunile acestora pot fi în limitele 0,1 . . . 1 000 μm.

Caracteristicile principale ale pulberilor metalice sînt: *forma particulelor* poate fi fibroasă sau aciculară cînd lungimea depășește cu mult celelalte două dimensiuni $l \gg b \cong h$, lamelară (plată $l \cong b \gg h$, echiaxială (sferoidală, poliedrică) $l \cong b \cong h$; *calitatea suprafeței:* rugoasă sau netedă; *structura internă* a granulelor: compactă sau cu macropori închiși sau deschiși; *fluiditatea* — cantitatea scursă în unitatea de timp printr-o pîlnie cu orificiul calibrat; *presabilitatea:* compactitatea obținută la o anumită presiune: *factorul de umplere:* raportul între înălțimea înainte și după presare; *rezistența muchiilor:* păstrarea muchiilor produsului aglomerat la scoaterea din matriță.

TABELUL 6.1

Compoziția chimică a unor pulberi de fier

Denumirea pulberii (procedeul)	Compoziția chimică, în %							
	Fe	C	O_2	Si	SiO_2	Mn	P	S
Höganäs I	98,2	0,07	0,58	n.d	0,24	n.d	0,005	0,010
Höganäs II	98	0,1	0,5	n.d	0,2	n.d	0,015	0,015
R.Z.	98,2	0,07	0,61	0,09	n.d	0,08	0,040	0,025
Hametag	nedeter-minat	0,09	0,5	0,04	n.d	0,31	0,024	0,03
TeH pentru piese	98,8	0,02	0,63	n.d	0,20	0,43	0,018	0,021
Pyron	98,25	0,02	0,8	n.d	n.d	0,35	0,012	0,005
Electrolitic	98,8	0,01	0,48	0,01	n.d	0,04	0,004	0,005
APJM-A	98	0,10	n.d	0,20	n.d	0,50	0,02	0,02
APJM-B	96	0,20	n.d	0,20	n.d	0,50	0,02	0,02
FREM-P-150	98,2	0,08	0,8	0,20	n.d	0,30	0,02	0,025

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile chimice, de exemplu ale pulberilor neferoase, se referă la conținutul de O_2, C, Si, S, P etc. (tab. 6.1) și la rezistența de oxidare.

6.2. TEHNOLOGII DE FABRICARE A PRODUSELOR DIN PULBERI METALICE

6.2.1. ELABORAREA PULBERILOR METALICE

În tabelul 6.2 sînt prezentate principalele metode, din care sînt aplicate frecvent:

— *măcinarea în mori cu bile,* pentru pulberi din feroaliaje, metale dure, catozi fragili ai electrolizei, așchii de fontă și oțel etc. sau în *vibratoare cu bile* pentru pulberi foarte fine din aluminiu, carburi de wolfram și titan sau grafit;

— *măcinarea în mori cu vîrtej,* pentru metale tenace (oțel moale, Cu, Al ș.a.). În figura 6.1 este prezentat schematic un utilaj tip Hametag. Măcinarea se face de palete și de impactul între particulele antrenate de un curent de gaz (reducător — H sau neutru — N) cu viteză de 500 m/s;

— *pulverizarea în fază lichidă* (metoda Drukverdüsung), prezentată în figura 6.2. Metalul care curge din creuzetul 2 este antrenat de aerul comprimat la 5—8 atm, cu viteza de 300 . . . 400 m/s, prin duza inelară *3*, sub formă de stropi care cad în apă, rezultînd granule sferoidizate.

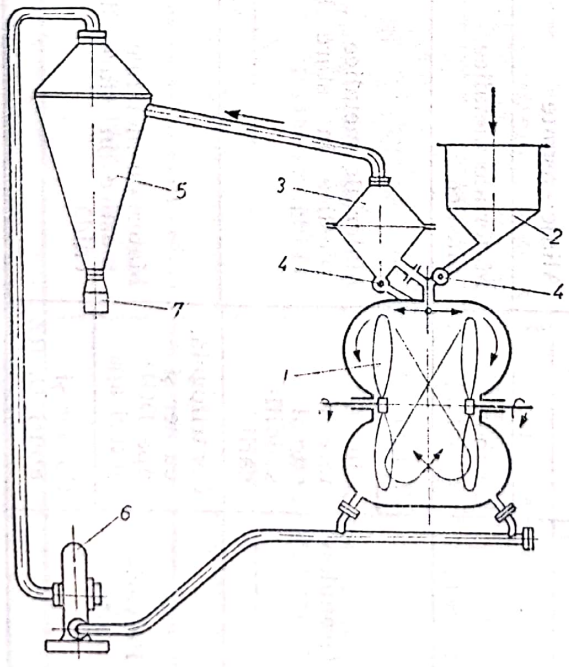


Fig. 6.1. Schema morii cu vîrtej, tip Hametag:
1 — elice; 2 — dozator de alimentare; 3 — ciclon; 4 — șiber; 5 — ciclon pentru pulbere măcinată; 6 — ventilatoare; 7 — buncher.

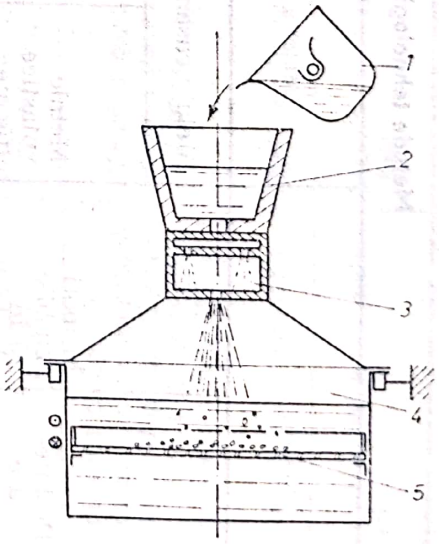


Fig. 6.2. Schema instalației de pulverizare prin metoda „D":
1 — oală de transport; 2 — creuzet intermediar; 3 — duză; 4 — cameră de pulverizare; 5 — sită.

TABELUL 6.2

Metode tehnologice și domeniul de utilizare a pulberilor metalice

Metode				Materia primă		Pulberea: Compoziție	Pulberea: Formă	Pulberea: Mărimea grăunților, în μ m	Domeniul de utilizare
Mecanice	Din faza solidă	Dezintegrare grosolană și fină prin măcinare	În mori cu bile și în mori vibratoare	Metale casante		Mn, Cr, Sb, Bi, Co			Piese de mașini pentru industria chimică
				Metale plastice făcute casante	burete din minereuri	Fe	Poliedrică, aciculară, disc	10—1 000	Lagăre poroase, piese de mașini
					precipitate electrolitice	Fe, Cr			
					așchii sîrme	Fe, Al, Cu			
				Aliaje casante		Fe-Al Fe-Cr etc.			Magneți, piese de mașini
			În mori cu vîrtej	Materiale metalice plastice		Fe, Ni-Fe, Cu, Ag, Al	Disc	20—1 000	Lagăre poroase, amalgame ș.a.
	Din faza lichidă	Granulare	în apă	Materiale metalice plastice în stare lichidă		Fe, Pb	Sferică	100—500	Lagăre poroase, cărbune metalic, filtre, magneți, piese de mașini, amalgame etc.
			prin agitare în cursul solidificării			Al, Cd, Sn, Zn		250	
	Din faza lichidă	Pulverizare	Centrifugală, cu aer și apă DGP, jeturi apă	Materiale metalice plastice în stare lichidă		Fe, Cu, Ni, Al, Bz, Am, Pb-Cu etc.	Sferică	20—400	Lagăre poroase, cărbune metalic, filtre, magneți, piese de mașini, amalgame etc.
			Cu aer și aburi D, RZ			Al, Co, Fe			

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 6.2 (continuare)

Metode				Materia primă	Pulberea			Domeniul de utilizare
					Compoziție	Formă	Mărimea grăunților, în μm	
Fizico-chimice	Din faza gazoasă	Prin condensare		Vapori de metal	Zn, Mo, Cd	Sferică	0,1—10	Lagăre poroase, cărbune metalic, bimetale, magneți, materiale pentru vid, aliaje dure, filtre
		Procedeul carbonil		Carbonil de metal	Ni, Fe, Co, Cr		0,1—5	
	Din faza lichidă	Reducere	Soluții apoase de săruri	Săruri de Ag, Au, Pt, Sn	Ag, Au, Pt, Sn	Poliedrică spongioasă	0,1—10	Amalgame, lagăre poroase, contacte electrice (W—Ag)
			Topituri de săruri	Cloruri, fluoruri și sărurile elementelor	Ta, Nb, Ti, Tn, Zr, V.			Materiale pentru vid, industrie etc.
	Din faza lichidă	Electroliză	Soluții apoase de săruri	Săruri de Fe, Cu, Pb, Sn etc.	Fe, Cu, Pb, Sn	Neregulată dentritică și aciculară poroasă	0,1—30	Lagăre poroase, cărbune metalic, magneți etc.
			Topituri de săruri	Săruri pentru Zr, V, Ta, Nb, Ti, Th	Ta, Th, Nb, Ti, Zr, V			Materiale pentru industria chimică etc.
	Din faza solidă	Reducerea compușilor chimici la temperatură înaltă: Högonäs; Pyran; H. Iron; CH_4 convertit; CH_4 neconvertit, FREM		Săruri organice, Oxizi metalici, minereuri	W, Mo, Fe, Ni, Ca, Co, Ti, Zr, U	Neregulată cu asperități și spongioasă	0,1—10	Filamente pentru becuri, plăcuțe pentru contacte electrice, aliaje dure, magneți
		Coroziune intercristalină		Oțel inoxidabil	Cr, Ni		200	Piese de mașini și industria chimică
		Reacții chimice cu metaloizi		Metale și oxizi de metale	Carburi, nitruri, boruri de W, Mo, Ta, Ti		1—50	Aliaje dure

Scanned with OKEN Scanner

— *metoda carbonil,* pentru pulberi fine din Fe, Ni, Co, Cr, Mo, W etc., prin tratarea metalului cu oxid de carbon și transformarea în carbonil $n\,M + m\,(CO) \rightleftarrows Mn\,(CO)\,m$ care la temperaturi scăzute se descompune $Mn(CO)m \rightleftarrows n\,M + m\,(CO)$ sub formă de pulberi; de exemplu din amestec de carbonil se obțin pulberi de aliaje Fe-Co, Fe-Ni, Fe-Mo, Ni-Co;

— *metoda electrolitică,* pentru pulberi de mare puritate, foarte fine, prin depunere dispersă a metalelor din materia primă mai puțin pură.

6.2.2. PREGĂTIREA PULBERILOR SAU AMESTECULUI DE PULBERI

Pulberile sînt supuse următoarelor operații de preparare pentru formare sau păstrare:

— *sortarea,* după mărimea particulelor, cu site vibratoare pentru pulberile cu granulație peste 44 μm și cu instalații pneumatice sau prin sedimentarea în medii lichide pentru granulații foarte fine;

— *tratamentul termic* este necesar pulberilor cu un grad înalt de ecruisare sau pentru cele care conțin o cantitate de oxizi peste limita admisă. Se aplică un tratament de recoacere în atmosferă reducătoare de H_2, C_2 sau NH_3, sau în cuptoare cu vid, la temperatura de 0,5—0,7 din temperatura de topire;

— *măcinarea,* cu ajutorul morilor cu ciocane, cu bile sau role, în scopul fărîmițării bucăților de pulberi aglomerate după elaborare sau tratament termic;

— *dozarea* amestecului de pulberi, cu ajutorul balanțelor rapide cu cadran sau automate;

— *omogenizarea* laturilor, prin măcinarea împreună a componenților (mori cu bile, mori vibratoare etc.) sau omogenizarea umedă (alcool, benzină, apă), rezultînd o pulbere cu un grăunte dur acoperit cu un strat fin din componentul moale;

— *ambalarea și conservarea* pe timp limitat a pulberilor care nu se folosesc imediat, în bidoane închise ermetic, în saci de plastic etc.; pentru evitarea oxidării.

6.2.3. REALIZAREA FORMEI ȘI DIMENSIUNILOR PRODUSELOR PRIN AGREGARE DE PULBERI

Formarea, ca operație premergătoare sinterizării constă în obținerea unui produs intermediar (semifabricat) compact și cu bune calități mecanice. Forma și precizia dimensională, precum și compactizarea produselor se realizează, de regulă, prin presare.

6.2.3.1. **Formarea semifabricatelor prin presare.** Asigură calitate superioară a suprafețelor, precizie dimensională ridicată, porozitate și compactitate.

Presarea pulberilor în matriță (cea mai utilizată metodă) asigură precizie înaltă, suprafețe netede, productivitate ridicată (se utilizează numai pentru semifabricate cu dimensiuni reduse).

Compactizarea cuprinde două faze: *presarea* (cu viteză mică pentru a nu se forma perne de aer) și *scoaterea semifabricatului* din matriță fără șocuri, după care se lasă să se destindă, timp în care dimensiunile sporesc — *relaxarea.*

Scanned with OKEN Scanner

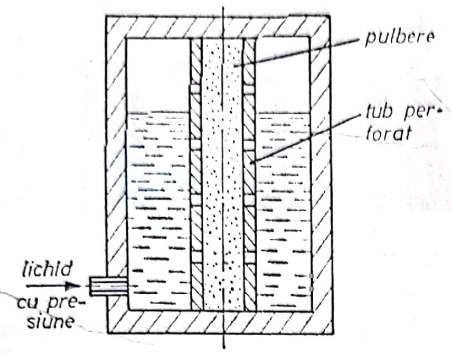


Fig. 6.3. Schema presării izostatice.

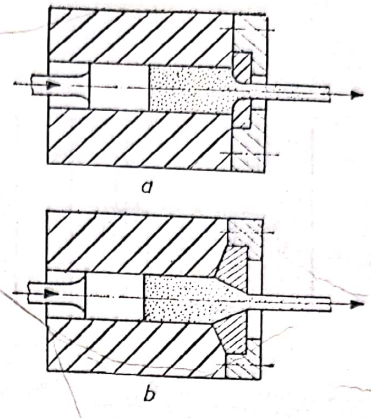


Fig. 6.4. Schema extrudării pulberilor metalice:
a – filieră dreaptă; b – filieră conică.

Presarea în matriță la cald permite, datorită încălzirii pulberii, realizarea compactizării și sinterizării dintr-o singură operație și obținerea unui produs mai compact. Procesul presării la cald în matriță are loc în trei faze: deformarea granulelor odată cu redistribuirea acestora, curgerea plastică pe o perioadă relativ mai îndelungată și relaxarea odată cu descărcarea continuă a forței de presare.

Compactizarea și omogenizarea este înlesnită, în cazul acestei metode, de prezența unei mici cantități de fază lichidă în timpul presării.

— *Presarea izostatică* a pulberilor (fig. 6.3) se face cu ajutorul lichidelor (apă, ulei) sau gazelor, la cald sau la rece și presiuni de 10 000 daN/cm^2

— *Extrudarea pulberilor metalice* se realizează într-un cilindru în care pulberea presată este silită să treacă printr-o filieră de un anumit profil (fig. 6.4).

— *Laminarea pulberilor* se face la rece, între doi cilindri de laminor. Pot fi obținute straturi în cantități și porozități diferite.

— *Presarea continuă în ciclu automat* este o formă particulară (fig. 6.5). Se obțin produse simple de lungime redusă. Pe o masă mobilă, pulberea este presată de un poanson.

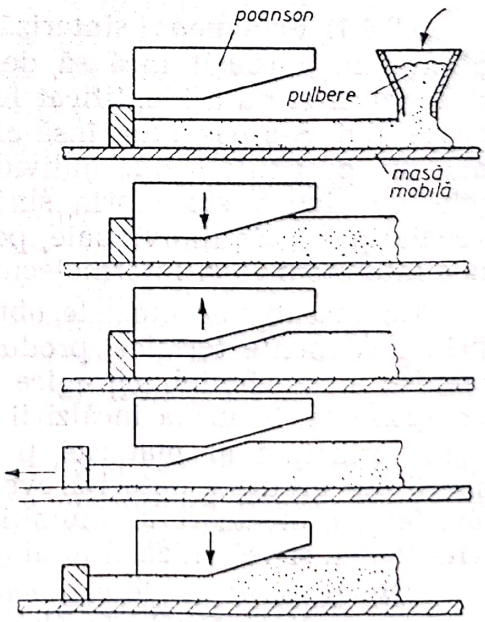


Fig. 6.5. Schema presării continue în ciclu automat.

6.2.3.2. **Formarea semifabricatelor din pulberi fără presare.** Se utilizează următoarele metode de formare:

— *Vărsarea simplă fără tasare* se aplică pulberii fără liant, care se varsă liber într-o formă metalică. Pereții formei se acoperă cu un strat de oxizi nereductibili, pentru a evita aderarea.

— *Vărsarea în forme de ipsos* (fig. 6.6) se aplică amestecului de pulberi în

Scanned with OKEN Scanner

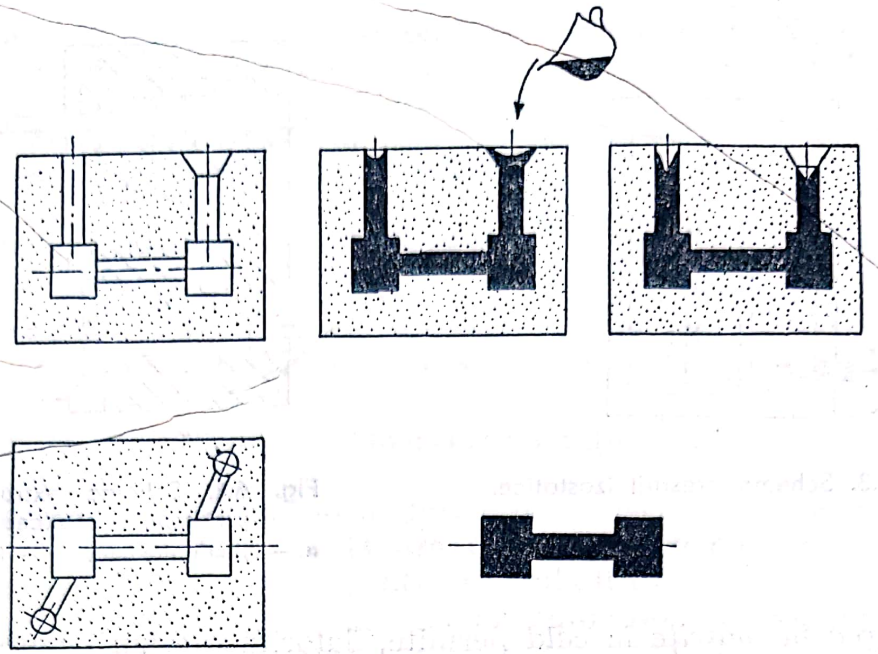


Fig. 6.6. Schema succesiunii fazelor formării prin vărsarea suspensiei în forma de ipsos.

suspensie; aceasta se varsă într-o formă hidrofilă în care particulele se aglomerează. După uscare, semifabricatul se scoate din formă și se supune sinterizării.

— *Vărsarea simplă și compactizarea prin vibrare* constă în vărsarea liberă în formă și sporirea densității pulberii, prin tasare pe un pat vibrant.

6.2.4. SINTERIZAREA

6.2.4.1. **Fenomenul sinterizării și caracteristicile produselor sinterizate.** Știința nu a reușit încă să dea o definiție sintetică unitară procesului sinterizării și nu a identificat fenomenele caracteristice ale mecanismului procesului. S-a constatat însă că, prin sinterizare, un produs nu este format din particule solide individuale, ci acesta devine un tot unitar. Forțele care iau naștere prin sinterizare, și care realizează legătura între vechile particule individuale, pot fi analoage forțelor care explică coeziunea interatomică și intermoleculară a materialelor metalice.

Comparativ cu efectele obținute asupra pieselor din metale și aliaje prin tratamente termice, produsele sinterizate sînt caracterizate printr-o sporire a rezistenței mecanice în secțiunile de contact dintre granulele componente, în urma încălzirii sub temperatura de fuziune a componentului principal al materiei prime. De asemenea, produsele sinterizate pierd din greutate datorită eventualelor reacții chimice dintre gazele atmosferei protectoare și anumiți componenți ai semifabricatului sau datorită topirii și volatilizării unui component secundar.

Din punct de vedere practic, sinterizarea este o operație tehnologică care se realizează prin încălzirea semifabricatului, obținut prin formare, la o temperatură egală sau superioară temperaturii critice de transformare în stare solidă (recristalizare).

Scanned with OKEN Scanner

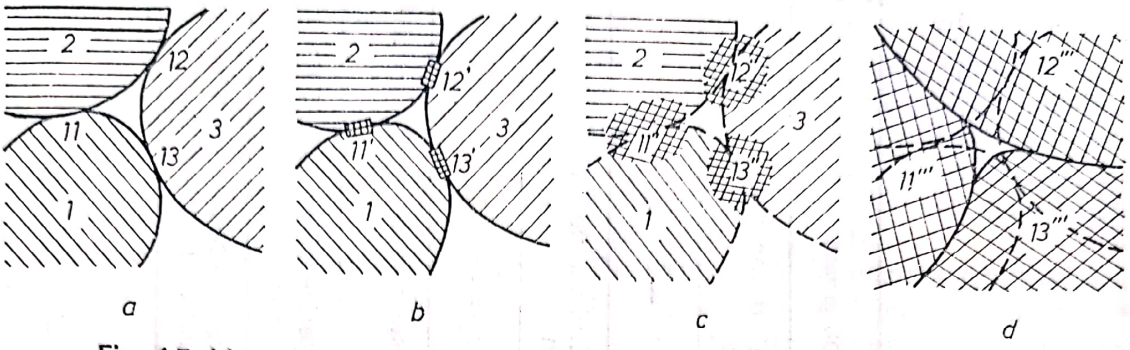


Fig. 6.7. Mecanismul sinterizării pulberii metalice cu un singur constituent:
a — formarea legăturilor „tip punct"; b — creșterea legăturilor „punct" și formarea suprafețelor de contact; c — dezvoltarea noilor grăunți cristalini; d — creșterea cristalelor noi, sferoidizarea, dispariția porilor: 1, 2, 3 — particule de pulberi; 11, 12, 13 — 11′, 12′, 13′ — 11″, 12″, 13″ — 11‴, 12‴, 13‴ — nuclee de cristalizare în diferite faze de dezvoltare.

Produsele obținute prin sinterizare au proprietăți deosebite privind rezistența la deformare, rupere, uzură etc. și au o componentă structurală analoagă materialelor metalice obținute prin turnare.

Procesul tehnologic de obținere a produselor din pulberi metalice constă în *formarea* (cu sau fără presare) a semifabricatului din amestec de pulberi și *sinterizarea* acestuia în vederea realizării legăturilor coezitive pe baza creșterii suprafețelor de contact dintre particule. Etapele mecanismului sinterizării (fig. 6.7) pot fi consecutive, suprapuse parțial sau simultane, fiind favorizate de curgerea plastică și de difuziunea superficială, în straturile marginale sau în toată masa grăuntelui, precum și de volatilizarea oxizilor, altor compuși chimici etc. și de gradul de compactizare a granulelor.

Formarea legăturilor „tip punct" apare chiar și în masa de pulberi metalice simplu vărsate, sub forma primelor puncte de contact dintre particule, care sînt instabile și de dimensiuni reduse. Prin tasarea între granule, punctele de contact se măresc, totuși acestea rămîn instabile și semifabricatul nu-și păstrează forma. În cazul formării cu presare (compactare), realizarea acestor legături are loc prin redistribuirea și alunecarea particulelor, cum și prin deformarea plastică în întreaga masă de pulberi, dînd semifabricatului o formă stabilă (faza *a*).

Creșterea legăturilor „punct" și formarea suprafețelor de contact (faza *b*) se produc în timpul sinterizării, fiind furnizate de creșterea mobilității atomilor odată cu sporirea temperaturii. Astfel, punctele de contact din faza anterioară cresc, dînd naștere unor nuclee de cristalizare care se dezvoltă în lungul suprafețelor de contact și în adîncime, peste granițele rețelelor cristaline inițiale. În continuare, datorită procesului de difuziune și de curgere plastică, noii grăunți cristalini se dezvoltă, porii dintre particule sînt micșorați și, în final, izolați, iar semifabricatul se contractă și devine compact și stabil.

Creșterea cristalelor noi (începută în a doua fază sub formă de suprafețe de contact) se accentuează, porii se micșorează treptat și capătă o formă sferică (fazele *c* și *d*). Aici fenomenele se desfășoară mai lent și se termină odată cu procesul de sinterizare.

6.2.4.2. **Parametrii regimului de lucru.** Procesul sinterizării poate fi influențat de următorii parametri:

— *temperatura*, principalul parametru care favorizează difuziunea, recristalizarea și reducerea oxizilor, trebuie să aibă valoarea optimă

TABELUL 6.3

Unele recomandări practice privind tehnologia sinterizării

Material	Atmosfera de protecție	Temperatura de sinterizare, K	Timpul de sinterizare, min	Observații
Fe și aliaje de Fe	Amoniac disociat, gaz ars parțial	1 173 ... 1 473	30 ... 90	Pentru evitarea decarburării CO/CO_2 va fi mic
Aliaje de Bz		973 ... 1 143	15 ... 25	—
Material de fricțiune		1 003 ... 1 123	30 ... 60	Sinterizarea și lipirea pe placă de oțel se face simultan
Materiale pentru contacte	H_2 Amoniac disociat	1 173 ... 1 473	10 ... 25	—
Magneți permanenți	H_2	1 523 ... 1 623	60 ... 180	Din cauza Al este nevoie de H_2 purificat și uscat
Aliaje dure	H_2	1 623 ... 1 873	45 ... 120	Eventual se sinterizează în vid (TIC) sau presare la cald
Metale refractare: W, Mo, Ta, Nb	H_2 (WMo) vid (Ta, Nb)	2 473 ... 3 473	15 ... 40	Barele de W și de Mo se presinterizează la temperaturi mai scăzute

Scanned with OKEN Scanner

necesară realizării mecanismului sinterizării: să fie între 0,75 și 0,8 din temperatura absolută de topire a componentului principal; să fie superioară sau cel puțin egală temperaturii de recristalizare. Astfel, temperatura de sinterizare a fierului este cuprinsă între 1 050 și 1 200°C. Deși temperatura de început de recristalizare nu a putut fi încă stabilită, se consideră că aceasta are valoare minimă cînd se constată aderarea între două particule de pulberi metalice, fără presare prealabilă;

— *durata* sinterizării este funcție de proprietățile cerute produsului; aceasta crește, în unele cazuri, pe măsură ce se urmărește o sporire a durității. Pentru sinterizarea fierului, durata de menținere este între 60 și 120 minute;

— *presiunea,* prin care se realizează compactizarea granulelor, influențează procesul sinterizării prin accelerarea mecanismului creșterii suprafețelor în contact dintre granule, reducerii porilor și evacuării gazelor;

— *mediul protector* este de obicei gazos și poate fi reducător, oxidant, neutru sau carburant. Astfel: sinterizarea sistemului Fe-grafit se realizează prin difuziunea unei părți de grafit, cu formarea unui schelet metalic cu o structură perlitică; carburarea se obține prin intermediul fazelor gazoase CO sau CH_4. În cazul unei purități sporite, se preferă sinterizarea în vid care permite evacuarea aproape totală a gazelor și substanțelor volatile.

În tabelul 6.3 sînt date unele recomandări practice privind tehnologia sinterizării, precum și influența factorilor principali asupra procesului de sinterizare.

6.2.5. MODIFICĂRI REZULTATE PRIN SINTERIZARE

Pentru realizarea rezistenței mecanice și altor caracteristici impuse este necesară sinterizarea semifabricatelor presate din pulberi.

Granulele presate dar nesinterizate conțin particule de oxizi, aer sau apă, fapt pentru care contactul dintre aceasta este nemetalic și neaderent. Odată cu temperatura, crește mobilitatea atomilor și forța de atracție reciprocă, fapt pentru care aceste pelicule de substanțe intermediare dispar, iar suprafața de contact nemijlocit dintre granule (metal pe metal) crește pe măsură ce evoluează procesul sinterizării.

Așadar, prin sinterizare se obține sporirea coeziunii și refacerea rețelei cristaline (modificată la presare) sub influența forțelor interatomice la temperatura de transformare, creșterea compactității (în general, piesele sinterizate se contractă) și aderarea (sudarea) prin difuziune reciprocă a particulelor de pulbere, realizîndu-se în final proprietățile dorite.

Rezistența la tracțiune sporește treptat prin sinterizare, fenomen explicat prin creșterea secțiunii de contact între granule. Dacă nu ar exista pori, microstructura unui material sinterizat nu s-ar deosebi cu nimic de microstructura unui material identic realizat prin turnare.

Duritatea este indicele de bază al calității produselor dure sinterizate. Componentul principal al materiei prime este pulberea foarte fină și foarte dură a unui compus chimic de tipul faze de pătrundere, cum sînt carburile, nitrurile și oxizii. Într-o masă de liant lichid, la temperatura de sinterizare, granulele dure se cimentează, rezultînd un corp compact de duritate macroscopică apropiată de duritatea pulberii componentului principal.

Scanned with OKEN Scanner

Porozitatea nu poate fi eliminată prin sinterizare, ci doar modificată. Chiar și în cazul compactităților foarte ridicate, produsele sinterizate prezintă porozitate deschisă.

Volumul produsului sinterizat se modifică datorită difuziunii de volum și curgerii vîscoase a materialului în spațiile intergranulare.

6.2.6. INSTALAȚII PENTRU ÎNCĂLZIRE ÎN VEDEREA SINTERIZĂRII

Instalațiile de încălzire a semifabricatelor în vederea sinterizării trebuie să îndeplinească următoarele condiții: etanșare perfectă a camerei de sinterizare; viteza de încălzire și răcire reglabilă, iar temperatura să poată fi constantă sau fin reglabilă; productivitatea ridicată și un consum redus de energie.

— *Cuptoarele de încălzire cu rezistență electrică* pot fi tubulare cu trecere continuă (în sens invers, circulă atmosfera protectoare), cuptoare cameră, cuptoare tip cupolă (cupola se poate ridica și coborî deasupra vetrei), cuptoare cu vid (cu temperatură pînă la 2 400°C). Funcție de amplasarea elementului de încălzire, pot fi cu elementele de rezistență situate în spațiul de sinterizare, în exteriorul camerei de sinterizare (căldura se transmite materialului camerei și de aici către semifabricat) sau piesa este chiar rezistența electrică a instalației.

— *Instalații de încălzire prin inducție* unde semifabricatul este indusul, iar inductorul constă dintr-o spiră de cupru.

— *Încălzirea cu fascicul de electroni,* în cuptoare cu vid, folosește ca sursă energia jetului de electroni care, în cea mai mare parte, se transformă în căldură. Catozii incandescenți din wolfram sau tantal emit electroni în vid, realizînd o temperatură de circa 3 000°C.

— *Cuptoarele încălzite cu combustibil* sînt mai puțin utilizate, deoarece variația și menținerea constantă a temperaturii se obțin cu abateri relativ mari.

6.2.7. PRELUCRĂRI ULTERIOARE SINTERIZĂRII

— *Calibrarea* se execută pentru produsele finite de mare precizie dimensională.

— *Compactizarea* are ca scop, pe lîngă realizarea unei înalte precizii dimensionale și sporirea densității produsului în vederea îmbunătățirii caracteristicilor mecanice.

În unele cazuri, operațiile de compactizare și calibrare se fac simultan.

— *Așchierea* se aplică produselor unicate sau de serie mică, însă costul crește, calitatea și, în special, porozitatea stratului superficial sînt influențate negativ, porii de la suprafață sînt acoperiți de materialul deformat plastic prin așchiere.

— *Tratamentele* termice se aplică rar. Pentru piesele cu porozitate minimă:

— recoacerea de recristalizare se aplică după o tehnologie similară celei aplicată aliajelor turnate;

— călirea se aplică în condiții deosebite deoarece sărurile lichide solidificate după călire sînt eliminate cu mare dificultate;

— revenirea se aplică după o tehnologie similară și în același scop ca în cazul aliajelor compacte turnate sau forjate;

Scanned with OKEN Scanner

— carburarea, se foloseşte în timpul sinterizării, pentru sporirea durităţii;

— durificarea prin precipitare (dispersie) se aplică în special, pentru materialul Fe-Cu-grafit care are o solubilitate limitată şi variabilă funcţie de temperatura componenţilor.

6.2.8. CONTROLUL ŞI DEFECTELE PRODUSELOR SINTERIZATE

Caracteristicile pieselor sinterizate sînt dependente de procesul tehnologic de fabricare folosit, fapt pentru care controlul acestora se realizează prin încercări de laborator şi urmărire în exploatare, precum şi prin analize adaptate evidenţierii acestor proprietăţi.

Defectele cele mai frecvente, ale pieselor sinterizate, pot fi: defecte privind aspectul, geometria şi configuraţia (rugozitate mare, ciupituri, fisuri, deformaţii, suduri între grupuri de particule, dimensiuni necorespunzătoare); defecte de structură (neomogenitate structurală, zone oxidate, decarburate sau supracarburate); defecte privind proprietăţile fizico-mecanice (porozitate mare, caracteristici fizice şi mecanice necorespunzătoare).

6.3. DOMENIILE DE UTILIZARE ŞI PERSPECTIVELE APLICĂRII METALURGIEI PULBERILOR

Prin acest procedeu se realizează materiale de o mare importanţă din punct de vedere tehnic: metale refractare pure (W, Mo, Ta, Nb etc.) care nu pot fi realizate prin turnare; materiale dure cu structură omogenă (WC-Co, TiC-Co etc.); materiale poroase pentru filtre în medii active, diafragme, cuzineţi; pseudoaliaje (W-Cu, Mo-Ag etc.) sau compoziţii de metale cu nemetale (Cu+grafit, Fe+mase plastice, metale+diamant etc.); amalgame dentare (pulberi de Ag, Cu, Sn, Zn cimentate la temperatura ambiantă cu Hg) etc.

Pulberile metalice sînt folosite ca atare, fără a fi aglomerate, la tăierea cu flacără, realizarea cuplajelor electromagnetice, în industria coloranţilor, obţinerea betonului celular.

Se prevede o dezvoltare rapidă în domeniul materialelor magnetice, contactelor electrice, amalgamelor, fibrelor pentru materiale de structură complexă cu proprietăţi magnetice şi de rezistenţă deosebite.

Se fac cercetări pentru aplicarea de procedee noi, cum ar fi compactizarea şi sinterizarea prin explozie ş.a.

6.4. PRODUSE ALE METALURGIEI PULBERILOR

6.4.1. MATERIALE ANTIFRICŢIUNE POROASE PENTRU LAGĂRE

Se folosesc pentru maşini-unelte, utilaje textile, maşini agricole, mecanică fină, autovehicule, aparatură foto etc. Sînt autolubrifiante datorită îmbibării porilor cu ulei, prin care se asigură permanent pelicula

Scanned with OKEN Scanner

de ungere și la sporirea locală a temperaturii (o cantitate de ulei este expulzată din pori).

Materialele poroase pentru lagăre sînt: *pe bază de fier* (Fe-grafit și Fe-Cu-grafit) la încărcări și viteze reduse; *pe bază de cupru* (bronzurile sinterizate de tipurile Cu-Sn, Zn-Cu, Cu-Ni), frecvent bronzul cu 10% Sn și porozitate de 25%, cu sinterizare la 845°C în amoniac disociat și îmbibare în ulei.

6.4.2. PRODUSE SINTERIZATE PENTRU CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

Se folosesc pentru piese de rezistență, prin compactizarea granulelor la presiuni mari, în cadrul unei tehnologii laborioase (presări și sinterizări repetate, presare la cald, impregnare cu alt metal topit, tratamente termice după sinterizare).

Pot fi: pe bază de fier (roți dințate cilindrice și conice, segmenți și culbutori pentru motoare, cuplaje, palete pentru turbine); pe bază de cupru (cuprul pur sinterizat, bronzul sinterizat — piese rezistente la uzură, alamă sinterizată — piese pentru industria electrotehnică, contacte, piulițe, șaibe, ceasuri; alpaca sinterizată — Cu-Ni cu rezistență mecanică și la coroziune pentru construcția de aparate); pe bază de aluminiu (pistoane, palete de ventilatoare și compresoare) etc.

6.4.3. PRODUSE DE MARE POROZITATE

Sînt utilizate ca filtre cu valori ridicate pentru permeabilitate, rezistență mecanică și la coroziune, din granule cît mai sferice și netede.

Pentru menținerea porilor, în timpul sinterizării se adaugă materiale de umplere (oxizi, carbonați sau oxalați) care nu se aliază cu materialul granulei. Sinterizarea acestora se realizează în două faze: presinterizarea la temperatură scăzută pentru descompunerea materialului de umplere, urmată de sinterizarea finală la temperatura maximă prescrisă.

Materialul granulat, folosit la fabricarea filtrelor, poate fi bronzul, nichelul, oțelul inoxidabil, argintul, carburile metalice, oțelurie carbon.

Domeniul de utilizare cuprinde filtrele metalice pentru curățirea gazelor și lichidelor (acizi, leșii, carburanți, lubrifianți) sau filtrele cu silicagel (fig. 6.8) pentru uscarea aerului.

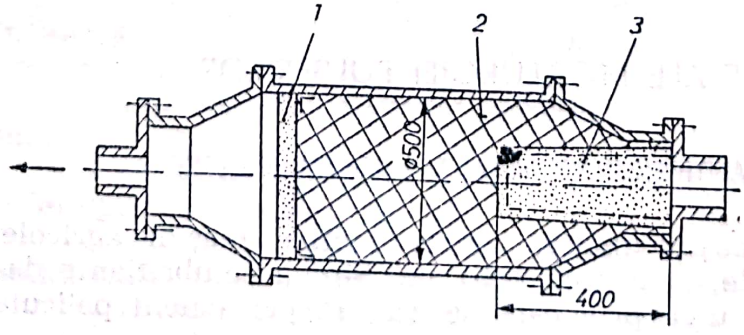


Fig. 6.8. Cartuș cu filtre pentru uscarea gazelor:
1 — filtru; 2 — silicagel; 3 — filtru.

Scanned with OKEN Scanner

6.4.4. PRODUSE DE FRICȚIUNE

Se folosesc pentru frîne și ambreiaje, avînd conductibilitate termică mare, adaptabilitate la formă (conferită de proprietățile metalului), coeficient mare de frecare și rezistență la uzură (proprietăți ale materialului nemetalic).

Materialele utilizate sînt pe bază de fier, cupru sau bronz, cu un conținut de 30% componenți nemetalici (grafit, silice, alumină, azbest).

6.4.5. PRODUSE DIN MATERIALE MAGNETICE SINTERIZATE

Cele mai folosite sînt:

— materiale magnetice moi, sub formă de fier pur sau aliajele acestora cu Si, Ni, Co și Mo; topirea în vid și apoi încălzirea pentru verificare a aliajelor magnetice permit realizarea unui procent foarte redus de S, P, C și O;

— miezuri magnetice masive, formate din pulberi feromagnetice și materiale nemetalice izolatoare electric; se utilizează pulberea de fier carbonil și fier electrolitic;

— materiale pentru magneți permanenți pe bază de Fe, Ni, Al, sînt produse cu structură fină și omogenă.

6.4.6. MATERIALE PENTRU CONTACTE ELECTRICE

Contactele electrice sinterizate au deosebită conductibilitate termică și rezistență fizică la uzură prin eroziune și nu pot fi realizate prin topire și turnare:

— *metal-grafit,* sub formă de perii de contact pentru dinamuri auto, mașini electrice rotative sau de joasă tensiune, instalații electrolitice; ca întrerupătoare cu destinație specială se folosește Ag-grafit, iar din Fe-grafit patinele glisante ale captatoarelor troleibuzelor;

— *pseudo-aliaje* (materiale metalice binare): pe bază de Cu-W sau Ag-W, realizate numai prin metalurgia pulberilor; asociază proprietățile wolframului (eroziune minimă, duritate mare) cu cele ale argintului sau cuprului (conductibilitate termică și electrică ridicată, oxidare lentă); se utilizează pentru întrerupătoare de înaltă tensiune, disjunctoare cu ulei etc.

— *metal — compuși chimici,* sub formă de Cu sau Ag cu compuși duri (carburi, boruri); metal-oxid metalic (Ag-CdO) care au foarte mare conductibilitate electrică.

6.4.7. MATERIALE REFRACTARE SINTERIZATE

Aceste materiale au temperatură înaltă de topire, rezistență la oxidare, stabilitate termică, rezistență la uzură etc.:

— *metalele* (W, Mo) se folosesc pentru filamente de lămpi incandescente, construcția de avioane și rachete (table pentru corpul aeronavei, motoare cu reacție, turbine cu gaz) sau elemente de încălzire pentru cuptoare electrice;

Scanned with OKEN Scanner

— *oxizii refractari,* se utilizează îndeosebi oxizii cu mare stabilitate: oxidul de aluminiu, oxidul pur de magneziu etc.;

— *cermenții* pe bază de metale și oxizi metalici, numiți cermenți propriu-ziși, din care fac parte: Fe cu Al_2O_3, MgO, spinel ($MgOAl_2O_3$), zircon ($Zr\ Si\ O_4$) sau Ni, Cr cu aceiași oxizi; au duritate și rezistență la temperaturi înalte.

6.4.8. ALIAJE DURE

Cele mai reprezentative produse ale metalurgiei pulberilor sînt aliajele dure, fiind constituite din grăunți foarte duri pe bază de carburi, pentru care aglomerarea se face împreună cu un liant metalic — cobaltul. Astfel, sub denumirea de Widia, este cunoscut produsul sinterizat din 94% W și 6% Co.

Carbura de wolfram se obține prin amestecarea pulberii de wolfram cu o cantitate corespunzătoare de negru de fum, în tobe sau mori cu bile. Amestecul este apoi încălzit la 1 400—1 600°C, timp în care are loc o carburare în vederea diminuării cantităților de carbon liber, oxigen și azot.

Domeniul de utilizare a aliajelor dure, aparține în cea mai mare parte (peste 70%) plăcuțelor de scule așchietoare. Celelalte produse, în afara filierelor de trefilare, pot fi: matrițe pentru ambutisare, extrudare sau calibrare; matrițe și poansoane pentru presare; suprafețe de contact pentru instrumente de măsurat; laminoare pentru benzi subțiri etc.

Produsele diamantate sinterizate sînt constituite din pulberi de diamant industrial, înglobate în lianți organici, cauciuc dur, produse sintetice etc. Procesul tehnologic constă, în principal, în amestecarea pulberii de diamant cu pulbere de liant (de ex. rășină sintetică), presarea și sinterizarea la 1 400—1 550°C. Pot fi folosite, ca liant și pulberile de metal, aliaje metalice sau aliaje dure (bronz, molibden, W-C-Co etc.).

Materialele diamantate sinterizate sînt utilizate pentru: discuri abrazive necesare rectificării (la viteze mari de așchiere) pieselor dure și ascuțirii sculelor așchietoare cu plăcuțe dure aplicate; sape de foraj; scule de tăiat profile; fierăstraie pentru debitat marmură masivă, ceramice etc.

6.5. AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE ALE PROCEDEULUI DE SINTERIZARE

Față de prelucrarea prin alte procedee: produse cu proprietăți speciale, ce nu pot fi altfel realizate; productivitate deosebit de mare; fără deșeuri: structuri foarte fine cu proprietăți mecanice deosebite; fără impurități; compoziții uniforme cu proprietăți constante; proprietăți electrice și magnetice mai bune, pentru aparatură ultrasensibilă; de regulă fără prelucrare ulterioară, doar a celor cu toleranțe strînse; folosește deșeuri (așchii, piese uzate etc.).

Dezavantaje: piese relativ mici; matrițe scumpe; atmosferă protectoare în cuptoare; pericol de explozie la folosirea hidrogenului; preparare laborioasă a pulberilor.

Scanned with OKEN Scanner

7

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN SUDARE

7.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA PRELUCRĂRII PRIN SUDARE

Sudarea este procedeul de asamblare nedemontabilă a materialelor solide de compoziție apropiată, topite sau aduse în stare plastică în zona îmbinării.

7.1.1. PROCESE METALURGICE SPECIFICE ÎMBINĂRII PRIN SUDARE

Pentru sudarea în faza lichidă, stabilirea forțelor de legătură între părțile de sudat începe cu interacțiunea picăturilor în baia comună și se continuă în timpul procesului de cristalizare a cusăturii sudate. Intensitatea mecanismului interacțiunii este dependentă, în primul rînd, de solubilitatea reciprocă, de mărimea tensiunii superficiale, diferența de densitate etc.

Privind solubilitatea, pot să apară mai multe grupe de perechi de materiale metalice:

— cu solubilitate nelimitată: toate materialele identice și parachile Fe-Ni, Fe-Cr, Ni-Mn, Ag-Au etc.;

— cu solubilitate limitată, din care fac parte Fe-CU, Cu-Zn etc.;

— cu insolubilitate totală, pentru cele de tipul Fe-Mg, Fe-Pb.

În cazul sudării în faza solidă, îmbinarea se realizează sub influența unei forțe exterioare, prin apropierea atomilor de pe suprafețele în contact. Distanța între aceștia trebuie să fie de ordinul parametrilor rețelei.

Sudarea prin presare la rece poate fi posibilă numai în cazul creării unei energii de activare în vederea sporirii mobilității atomilor. Această energie poate fi generată prin deformarea plastică pînă la starea de ecruisare, însoțită de o intensă degajare de căldură; cînd aceasta este insuficientă, prin încălzire suplimentară sînt anulate efectele ecruisării, plasticitatea metalului sporește, crește brusc difuziunea atomilor odată cu amplitudinea oscilațiilor termice în jurul poziției lor de echilibru.

Scanned with OKEN Scanner

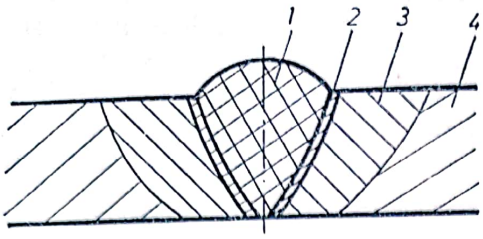


Fig. 7.1. Zonele unei îmbinări sudate prin topire:

1 – cusătura; 2 – zona de trecere; 3 – zona de trecere; 3 – zona influențată termic; 4 – metalul de bază.

Îmbinarea obținută prin topire are compoziție chimică și structură diferite de metalul de bază. În cazul sudării cu adaos de material, cusătura conține și metal topit din metalul de bază. Baia de metal poate intra în reacție chimică cu elemente din mediul înconjurător (gaze, fluxuri, zgură) dar, în același timp, poate pierde elemente (Si, Mn, C, Cr etc.) prin reacții de oxidare, poate primi elemente de aliere sau poate îngloba prin absorbție O_2, H_2, N_2. În afară de faza gazoasă (sufluri), gazele înglobate pot forma și compuși sau soluții solide. Astfel, oxigenul dă incluziuni de oxizi, hidrogenul se dizolvă (boala hidrogenului, ușurează apariția fisurilor), azotul formează nitruri dure care sporesc fragilitatea cusăturii.

Datorită temperaturii ridicate a procesului de sudare și mișcării turbulente a băii de metal topit produsă de acțiunea arcului electric sau jetului oxi-gaz, se poate considera că elementele componente ale cusăturii (cele două metale de bază și materialul de adaos) sînt bine amestecate. După cristalizare și răcire, în cordonul de sudură apar zone cu structuri specifice. Zona centrală a cusăturii are o structură dendritică caracteristică materialelor metalice topite și turnate în forme metalice (cristale columnare cu axa normală pe curbele izoterme). Între această zonă și metalul de bază există o zonă foarte îngustă de trecere provenită dintr-un amestec de metal topit și metal de bază supraîncălzit, avînd constituenți de difuziune reciprocă. Această zonă este mai aparentă cu cît este mai mare diferența între compozițiile chimice ale cusăturii și metalului de bază (fig. 7.1).

7.1.2. STRUCTURA CRISTALINĂ A ÎMBINĂRILOR SUDATE

În metalul de bază netopit din apropierea cusăturii (fig. 7.2), datorită încălzirii și răcirii cu viteze mari, se produc transformări ale structurii cristaline, fără modificarea compoziției chimice, pe o anumită lățime numită zona influențată termic (*ZIT*). Aici au loc recristalizări, transformări de fază, difuziuni etc. Profunzimea acestei zone este funcție de regimul termic, grosimea elementelor de asamblat, tipul (forma) cusăturii și procedeul de sudare.

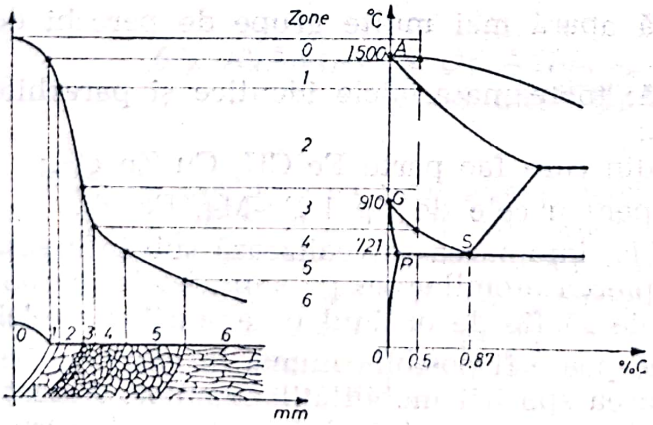


Fig. 7.2. Structuri rezultate după sudare, la un oțel (0,24% C) cu sudabilitate bună:

0 – zona cusăturii; 1 – zona de trecere; 2 – zona de supraîncălzire; 3 – zona de normalizare; 4 – zona de recristalizare ; 5 – zona de recristalizare incompletă; 6 – zona de fragilitate la albastru.

În cazul sudării prin presiune, întrucît temperatura este mai scăzută (materialul de adaos nu există și îmbinarea are loc în stare plastică), structura îmbinării este mult mai

Scanned with OKEN Scanner

omogenă față de sudarea prin topire. Procesul de sudare are o durată mai scurtă și nu apar diferențe de compoziție chimică, însă, în jurul zonei sudate apar grăunți măriți (de supraîncălzire) și structuri în afara echilibrului, avînd ca efect diminuarea proprietăților față de cele ale metalului de bază neinfluențat termic.

7.1.3. SUDABILITATEA MATERIALELOR METALICE

Sudabilitatea este capacitatea unui material de a permite îmbinarea prin sudare, astfel ca asamblarea să îndeplinească condițiile tehnice și de exploatare ale construcției, fără să se recurgă la procedee tehnologice suplimentare (preîncălzire, tratament termic etc.).

La stabilirea sudabilității se iau în considerație: factorii tehnologici (procedeul de sudare ales, regimul de sudare, tehnica de execuție), factorii metalurgici (compoziția chimică, modul de elaborare a aliajului, participarea fondantului de sudare) și factorii de exploatare (natura solicitărilor în îmbinare, prezența vibrațiilor, temperatura de exploatare). În România, oțelurile sînt clasificate în trei grupe de sudabilitate (tabelul 7.1).

TABELUL 7.1

Sudabilitatea oțelurilor (extras din STAS 7194-65)

Grupa de sudabilitate		Aprecierea calitativă a sudabilității	Este garantată sudabilitatea	Condiții de sudare
I	a	bună necondiționată	da	Oțeluri cu sudabilitate bună, garantată fără condiții speciale.
	b	bună condiționată	da	Oțeluri cu sudabilitate garantată cu condiția respectării unor măsuri stabilite în prealabil.
II		posibilă	nu	Oțeluri cu care se pot obține îmbinări sudate de calitate corespunzătoare; condițiile de sudare se stabilesc de beneficiar.
III		necorespunzătoare	nu	Oțeluri nerecomandate pentru construcții sudate, cu care în mod normal se obțin îmbinări prin sudură de slabă calitate.

Pentru evaluarea aproximativă a comportării la sudare a materialelor metalice cu sudabilitate redusă, se măsoară duritatea în *ZIT*. Spre exemplu, în figura 7.3 este reprezentată variația durității funcție de conținutul de carbon în *ZIT* (*1*), pentru un oțel de construcție, în cazul sudării cu arc electric, față de oțeluri cu aceeași compoziție chimică dar neinfluențate termic (2). La procente mai mari de 0,3% C, călibilitatea

Scanned with OKEN Scanner

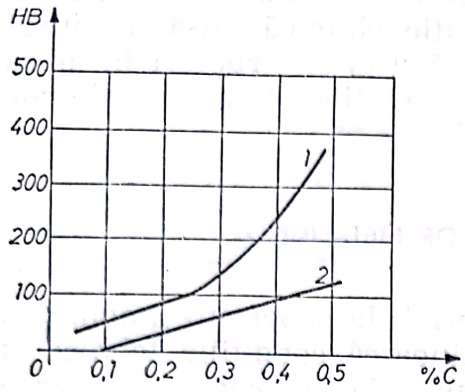


Fig. 7.3. Modificarea durității la sudare:
1 — zona influențată termic (ZIT); 2 — materialul de bază (oțel de construcție).

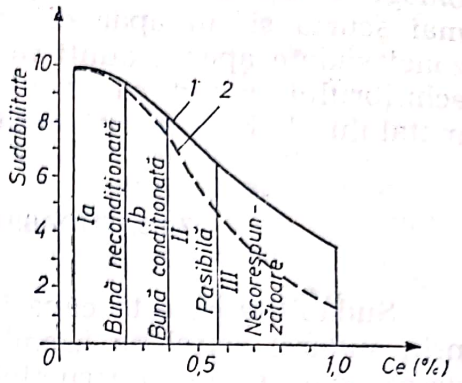


Fig. 7.4. Sudabilitatea funcție de procentul de carbon:
1 — în condiții tehnologice speciale; 2 — în condiții normale.

oțelului crește, se obțin structuri în afară de echilibru, inclusiv martensită, creînd astfel condiții pentru ruperea fragilă în zonă.

Pe lîngă conținutul de carbon, sudabilitatea oțelurilor este funcție și de elementele de aliere care, de regulă, favorizează durificarea sub cordon. Pentru a ține cont și de influența acestor elemente de aliere, se folosește termenul „carbon echivalent" Ce, definit ca procentul de carbon al unui oțel nealiat care are aceeași sudabilitate cu a oțelului aliat. Relația pentru stabilirea carbonului echivalent este dată de STAS 7194-65:

$$\%Ce = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} + 0{,}0024\ s, \qquad (7.1)$$

în care s (mm) este grosimea pieselor sudate.

Pe baza acestui criteriu, o bună sudabilitate în condiții normale (curba 2) se obține considerînd o scară convențională de la 1 la 10, cînd Ce=0,4—0,5% (fig. 7.4). Dacă sudarea este realizată cu preîncălzirea locală a metalului de bază sau folosirea de materiale de adaos compensatoare și a unor tehnici de sudare adecvate, pot fi sudate și oțelurile carbon cu Ce pînă la 1,0% (curba 1). Însă, ținînd cont de faptul că realizarea unor regimuri optime de sudare este foarte dificilă în condiții de șantier, se evită sudarea oțelurilor cu conținut ridicat de carbon. Pentru construcțiile sudate, la care sînt necesare rezistențe admisibile sporite, în vederea realizării unei bune sudabilități în condiții normale, se recomandă utilizarea de oțeluri slab aliate cu Mn, Cu, Cr, Mo și conținut de carbon sub 0,25%.

Privind influența procentului ridicat de carbon, rezultă că fontele au sudabilitate necorespunzătoare (grupa a III-a). Cu măsuri speciale pentru asigurarea grafitizării cusăturii în timpul răcirii (preîncălzirea pieselor, alierea băii de sudare cu elemente de grafitizare), pot fi sudate numai fontele cenușii.

Cuprul se sudează bine cînd conține O_2 sub 0,4% și dacă sînt asigurate condiții pentru a evita pierderile mari de căldură din cauza conductivității termice foarte bune. Alamele se sudează greu datorită zincului care este ușor oxidabil. De asemenea, bronzul se sudează greu din cauza tendinței puternice de segregație la cristalizare. Aluminiul și aliajele acestuia se sudează greu, atît datorită afinității față de oxigen în stare

Scanned with OKEN Scanner

topită a elementului principal, cît și conductivității termice ridicate. Nichelul și aliajele sale se sudează bine.

În ceea ce privește factorii tehnologici, sudabilitatea este sensibil influențată și de procedeul de sudare, de metoda și chiar de tehnica de lucru. Astfel:

— la sudarea prin topire cu arc electric, față de sudarea cu flacără, se realizează local o concentrare mai mare a energiei termice, o *ZIT* mai îngustă și o mai redusă cantitate de căldură transmisă metalului de bază, avînd ca rezultat tensiuni remanente și deformații mai mici în îmbinare;

— privind variantele procedeului (sudarea cu arc electric deschis față de sudarea sub strat de flux) sau ale tehnicii de lucru (sudarea pe lungimi mari fără rost sau fără prelucrarea uneia din piese), diferențele între valorile tensiunilor și deformațiilor sînt foarte mari.

7.1.4. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE

În figura 7.5 este reprezentată o variantă a clasificării principalelor procedee și metode industriale de asamblare prin sudare, tratate în acest capitol.

7.2. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE TERMOCHIMICĂ

7.2.1. SUDAREA PRIN TOPIRE CU FLACĂRĂ DE GAZ

Procedeul folosește ca sursă termică de sudare, reacția chimică controlată între un gaz combustibil în amestec cu oxigenul.

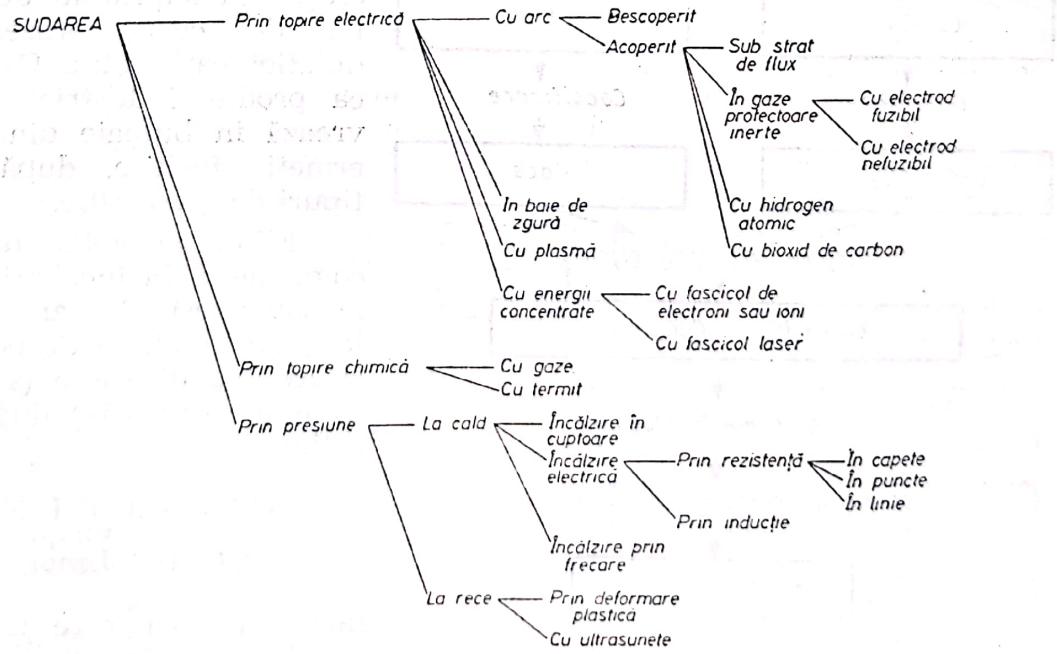


Fig. 7.5. Clasificarea procedeelor și metodelor de sudare.

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.2

Gaze combustibile pentru sudarea prin topire cu flacără

Combustibilul gazos	Formula chimică	Puterea calorifică, Kcal/m³	Energia calorică utilizată, Kcal/m³	Temperatura flăcării, K	Densitatea fluxului de căldură, Kcal/s·cm²
Acetilena	C_2H_2	11 500	5 050	3 160	—
Metan	CH_4	8 550	1 400	2 150	10,7
Propan	C_3H_8	22 350	1 150	2 200	2,56
Butan	C_4H_{10}	29 510	1 100	2 250	—
Hidrogen	H_2	2 570	1 300	2 000	2,34

7.2.1.1. **Gazele combustibile folosite la sudare.** Folosirea gazelor combustibile la sudare este condiționată de următorii parametri de bază: temperatura maximă a flăcării, viteza de ardere în amestec cu oxigenul, densitatea fluxului de căldură (cal/s.cm²) și cheltuielile aferente.

Dintre acestea, acetilena, obținută din carbură de calciu și apă, este utilizată pe scară largă datorită caracteristicilor superioare, prezentate în tabelul 7.2. Carbura de calciu (carbid) se fabrică din carbonat de calciu și cărbune, conform schemei procesului chimic din figura 7.6.

Acetilena rezultă din reacția exotermă dintre carbid $Ca\begin{matrix}C\\|||\\C\end{matrix}$ și apă

$$CaC_2+2H_2O=C_2H_2+Ca(OH)_2+30{,}4\cdot4186\text{J/mol}, \qquad (7.2)$$

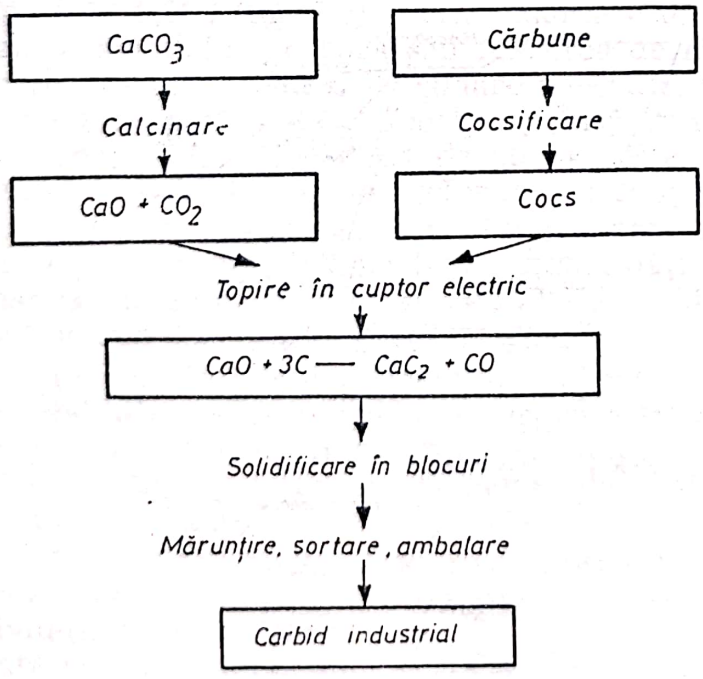


Fig. 7.6. Schema procesului chimic de fabricare a carbidului industrial.

în care viteza de reacție crește cu suprafața de contact, deci cu micșorarea granulației carbidului. Carbidul ca produs industrial se livrează în butoaie din tablă ermetic închise, după șase tipuri de granulație.

Fiind instabilă față de componenți la încălziri locale sau presiuni mari, acetilena are tendința de polimerizare sau disociere (se descompune exploziv) după reacția:

$$C_2H_2\rightarrow 2C+H_2+59{,}3\cdot4186\text{ J/mol}, \qquad (7.3)$$

motiv pentru care la manipulare și îmbutelier se iau măsuri corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

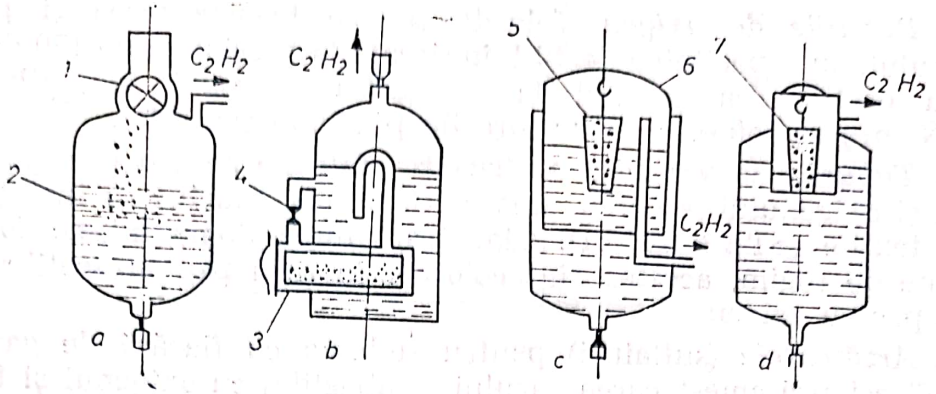


Fig. 7.7. Tipuri de generatoare de acetilenă.

7.2.1.2. **Utilaje pentru sudare.** Pentru evitarea disocierii acetilenei se admite producerea acesteia la presiunea maximă de 1,5 daN/cm², în *generatoare* de tip standardizat (STAS 6306-69) cu circuit de răcire.

a) După modul de contact, se folosesc următoarele tipuri principale de generatoare:

— generatoare cu dozarea carbidului (fig. 7.7, *a*) sau „carbid în apă", în general fixe, de capacitate mare, montate în centrale de acetilenă;

— generatoare cu dozarea apei (fig. 7.7, *b*) sau „apă peste carbid", fixe în centrale de acetilenă sau semiportabile;

— generatoare cu autoreglarea duratei de contact (fig. 7.7, *c, d*) sau „cu contact temporar", care funcționează prin cufundarea carbidului (*c*) sau prin dislocarea apei (*d*), de capacitate mică și presiune joasă, transportabile.

O clasificare a generatoarelor de acetilenă este reprezentată în figura 7.8.

Acetilena poate fi păstrată și transportată în butelii (tubui de acetilenă) în care se află o masă poroasă îmbibată cu acetonă care, dizolvînd acetilena, permite îmbutelierea la presiuni mari (15 daN/cm²).

b) *Supapele de siguranță* sînt obligatorii în instalația de alimentare cu acetilenă și sînt amplasate între suflai și generator, pentru evitarea întoarcerii flăcării și exploziei în generator. În mod frecvent se utilizează supapa hidraulică de siguranță (STAS 6306-69) a cărei schemă de principiu este reprezentată în figura 7.9 și uneori supape uscate cu bilă. Indiferent de principiul constructiv acestea funcționează prin răcirea în atmosferă a acetilenei și obturarea frontului flăcării.

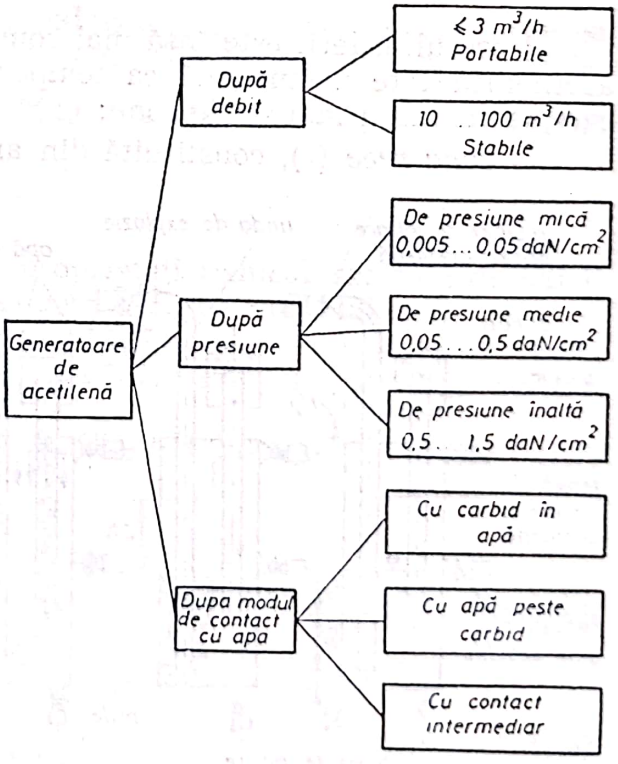


Fig. 7.8. Clasificarea tipurilor de generatoare de acetilenă.

c) Buteliile de oxigen, folosite pentru transportarea și păstrarea oxigenului, au capacitatea de 40 l, încărcate la presiunea de 150 da N/cm². Pentru destinderea gazului la presiunea necesară în suflai (0,5—5 da N/cm²) se folosesc reductoare de presiune reglabile.

d) Tuburile de presiune pentru gaze, folosite pentru transportul acetilenei și oxigenului la suflai, sînt fabricate din cauciuc cu inserții de țesături textile (STAS 623-61). Clasificate după domeniul de folosire și presiune de regim, acestea sînt colorate în roșu pentru acetilenă și albastru pentru oxigen.

e) Arzătoarele (suflaiuri) pentru sudarea cu flacără de gaz (STAS 4137-56) asigură amestecarea gazului combustibil cu oxigenul și formarea flăcării. După presiunea acetilenei și modul în care se realizează amestecul între C_2H_2 și O_2, pot fi:

— fără injector sau de presiune egală (fig. 7.10), în care atît oxigenul cît și gazul combustibil, aduse la presiuni de 0,5 . . . 0,7 daN/cm², trec prin camera de amestec pentru omogenizare spre becul arzătorului;

— cu injector (fig. 7.11) are un domeniu de utilizare mai larg decarece poate fi folosit la presiuni medii sau mici ale acetilenei; oxigenul intră la presiunea de 1,5 . . . 5 daN/cm², se destinde la trecerea din injector spre camera de amestec, ajungînd la bec cu o presiune de 1,1 . . . 1,5 daN/cm²;

7.2.1.3. **Sursa termică.** Reacția chimică exotermă, care poate realza sursa de sudare cu flacără, constă în oxidarea intensă a unei hidrocarburi. În cazul particular al acetilenei, arderea completă în oxigen are loc după reacția:

$$C_2H_2 + \frac{5}{2} O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + Q. \qquad (7.4)$$

Procesul arderii este însă mai complex, fapt pentru care flacăra oxiacetilenică este neomogenă ca temperatură și compoziție (fig. 7.12) în care se disting următoarele zone:

— *zona rece* (*1*), constituită din amestecul neaprins;

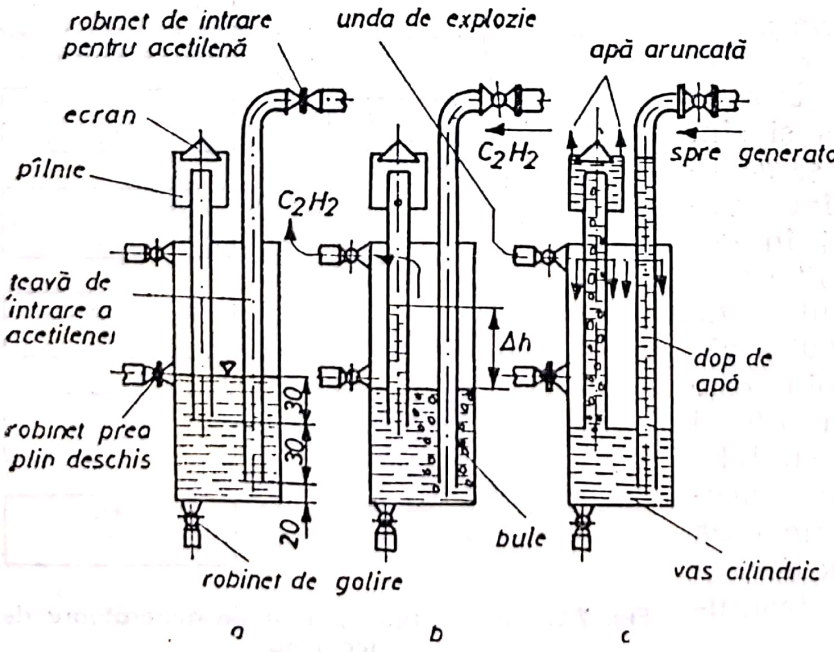


Fig. 7.9. Schema uncțională a supapei hraulice de siguran.

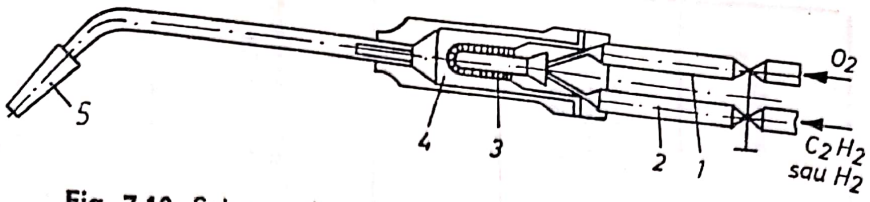


Fig. 7.10. Schema de principiu a unui arzător fără injector:
1 — conducta de oxigen; 2 — conducta de acetilenă; 3 — tub perforat; 4 — cameră de amestec; 5 — ajutaj de ieşire (bec).

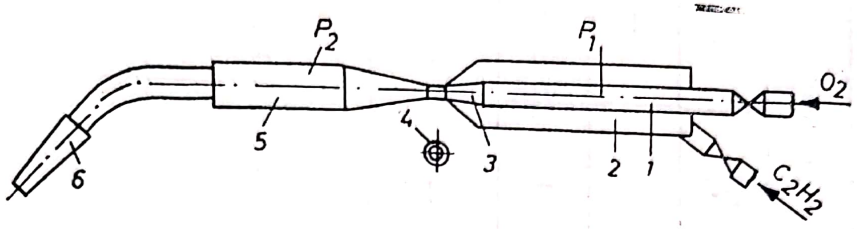


Fig. 7.11. Schema de principiu a unui arzător cu injector:
1 — conducta de oxigen; 2 — conducta de acetilenă; 3 — ajutaj conic; 4 — secţiunea spaţiului inelar de absorbţie a acetilenei; 5 — camera de amestec; 6 — bec.

— *nucleul flacării* (2), în care are loc încălzirea treptată a amestecului gazos pînă la temperatura de aprindere; în stratul exterior are loc descompunerea parţială a amestecului, cu formarea unor particule de carbon în stare incandescentă

$$C_2H_2+O_2 \rightarrow 2C+H_2+Q, \qquad (7.5)$$

care dau cea mai luminoasă parte a flăcării;

— *flacăra primară* (3) — zona reducătoare, în care începe arderea numai în contul oxigenului primar provenit din butelie, conform reacţiei

$$C_2H_2+O_2 \rightarrow 2CO+H_2+Q_1, \qquad (7.6)$$

unde:

Q_1=107,58·4186 J/mol,

cu efect reducător (deoarece H_2 are proprietăţi reducătoare faţă de oxizii fierului şi ai altor metale) şi cu temperatura cea mai ridicată;

— *flacăra secundară* (4) — zona oxidantă, în care arderea se continuă datorită, în principal, prezenţei aerului înconjurător, după relaţia:

$$2CO+H_2+\frac{3}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2+H_2O+Q_2, \qquad (7.7)$$

unde:

Q_2=203,57·4186 J/mol.

Poartă denumirea de zonă oxidantă deoarece la temperatura acesteia, atît CO_2 cît şi H_2O pot oxida fierul.

Funcţie de raportul volumetric

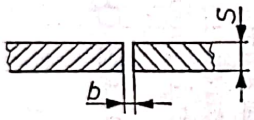
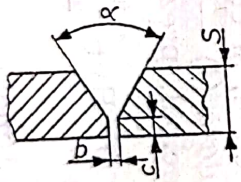
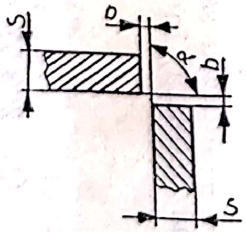
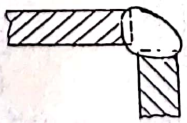
$$\beta=\frac{O_2}{C_2H_2}, \qquad (7.8)$$

se disting următoarele tipuri de flacără şi utilizări ale acestora:

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.3
(Extras)

Forme și dimensiuni ale îmbinărilor, la sudarea prin topire cu flacără de gaz (după STAS 6662-62, pentru oțeluri)

Denumirea cusăturii	Forma rostului	Forma îmbinării	Grosimea metalului de bază S, mm	Dimensiunea rostului			Observații
				α, β, grade	b, mm	c, mm	
Sudura în I			pînă la 1		0 . . . 1	—	Sudura verticală simultan bilaterală
			4 . . . 12		3 . . . 4	—	
Sudură în I cu margini răsfrînte			pînă la 2		—	S+1	—
Sudură în Y			4 . . . 12	55 . . . 65	2 . . . 4	0 . . . 2	Pentru sudare pe dreapta
Sudura de colț			2 . . . 8	60 . . . 120	0 . . . 2	—	—

Scanned with OKEN Scanner

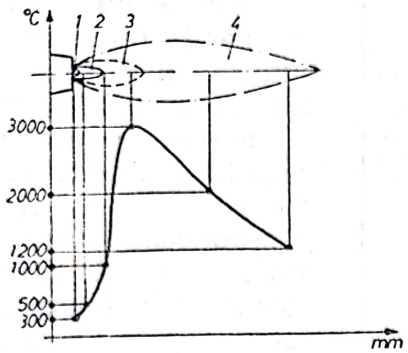


Fig. 7.12. Zone ale flăcării oxiacetilenice.

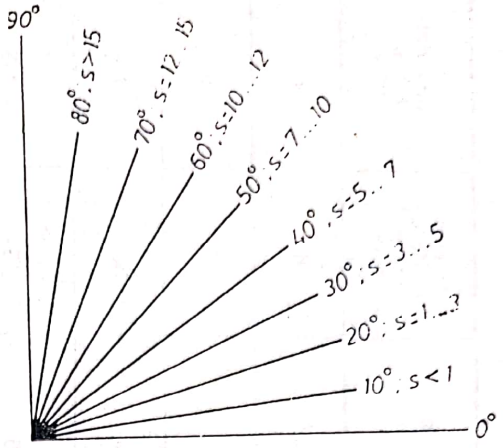


Fig. 7.13. Unghiul de înclinare a axei flăcării.

— *flacăra normală* (β=1,1 ... 1,2), cu efect reducător, în care oxigenul primar asigură începutul oxidării; se folosește pentru sudare, în zona (*3*) la suprafața piesei;

— *flacăra oxidantă* (β=1,2—1,5) cu exces de oxigen, în care acetilena arde complet într-un spațiu concentrat, bine conturat și cu temperatură sporită; nucleul se micșorează, iar zona oxidantă este mai scurtă și de culoare albastră; se folosește la tăierea metalelor;

— *flacăra carburantă* (β<1,0), cu exces de acetilenă, în care arderea este incompletă în urma reacției de oxidare primară; nucleul se mărește, flacăra se alungește; se folosește la lipire.

7.2.1.4. **Tehnologia sudării cu flacără de gaz.** Constă în următoarele etape:

Pregătirea marginilor pieselor constă în: *a*) curățirea (la luciul metalic, uscat și degresat) pe ambele fețe pe o lățime de 20—40 mm; *b*) prelucrarea (în *I, V, X* sau *U*) a muchiilor celor două piese funcție de grosimea și tipul îmbinării (tab. 7.3); *c*) poziționarea suprafețelor pieselor la același nivel și a muchiilor la distanța prescrisă.

Alegerea regimului de lucru și a indicatorilor tehnico-economici, funcție de grosimea pieselor de sudat, se face în mod uzual cu ajutorul datelor stabilite statistic, sintetizate, în cazul unui oțel cu conținut redus de carbon (tab. 7.4.) conform STAS 6662-62.

Unghiul α *de înclinare a axei arzătorului* față de axa cusăturii se ia funcție de grosimea pieselor de sudat (fig. 7.13).

Sudarea propriu-zisă. Suflaiul se alege funcție de grosimea piesei de sudat, la care se aprinde flacăra și se reglează forma acesteia după raportul volumetric necesar. Astfel: β=1 pentru sudarea Al, Cu și oțel inoxidabil: β=1,1 — oțeluri carbon și slab aliate; β=1,2 — alame. Materialul de adaos, sub formă de sîrmă, trebuie să aibă compoziția chimică identică sau apropiată de a metalului de bază și diametrul $d=\frac{s}{2}+1$ mm.

Domeniul de aplicare: la piese subțiri din oțel carbon, la repararea celor din fontă, unele aliaje neferoase (bronz, alamă) sau cînd nu există rețea sau sursă de curent electric.

Avantaje: reglarea ușoară a flacării; sudarea piesei de grosimi reduse (0,5 ... 1,5 mm); eficientă la reparații și remedieri.

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.4

Indicatori tehnico-economici pentru sudarea prin topire cu flacără de gaz

Felul cusăturii	Grosimea tablei, mm	Diametrul vergelei de adaos d, mm	Materialul depus, kg/m	Consum de O_2, l/h	Consum de C_2H_2, l/h	Norma medie de lucru, min/m	Productivitatea, m/h
	0,5—2,0	1	0,016	4,6	4,6	6	10
	2—5	1—3	0,05	38	35	10	6
	5—15	4—6	1,0	670	620	33	1,9
	15—20	8	1,9	1240	1160	45	1,3
	20—25	8	3,2	3160	2940	80	0,75

7.2.2. SUDAREA PRIN TURNARE

Procedeul constă în realizarea băii de sudură prin topire cu termit, al cărui proces tehnologic se desfășoară astfel: piesele de sudat *A* și *B* (fig. 7.14) se poziționează între ele, astfel ca să rămînă rostul de valoare *a*; în jurul capetelor se realizează cavitatea de turnare (forma) într-un amestec de formare special (93—94% nisip cuarțos și 6—7% liant superior) care se usucă și se preîncălzește treptat cu flacăra împreună cu capetele pieselor la 1 073—1 173 K. În mod frecvent se folosește termitul de aluminiu. Reacția exotermă (tab. 7.5) este realizată într-un creuzet separat, fiind amorsată prin aprinderea cu un chibrit special de magneziu. Metalul topit, supraîncălzit, rezultat din această relație chimică, se toarnă din creuzet în forma care topește un strat din metalul de bază formînd baia comună de metal topit. Zgura se ridică la partea superioară și izolează termic, întîrziind răcirea. Supraînălțarea *b* poate fi îndepărtată prin așchiere.

Procedeul se aplică la sudarea șinelor de tramvai, mai rar la cele de cale ferată. Este însă limitat de costul ridicat al termitului, de pro-

Scanned with OKEN Scanner

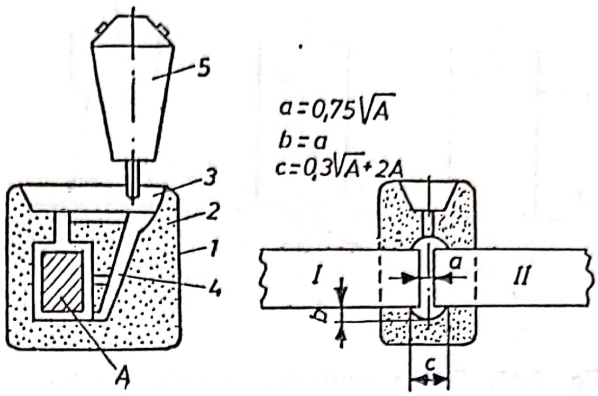


Fig. 7.14. Sudarea prin topire cu termit:
I şi II — piesele de asamblat; 1 — cutie de formare; 2 — formă temporară; 3 — bazin pentru zgură; 4 — reţeaua de turnare; 5 — creuzet pentru termit.

ductivitatea redusă şi, îndeosebi, de tendinţa de a fi înlocuit de noile procedee de sudare electrică prin rezistenţă. Poate fi aplicat cu succes şi la repararea pieselor mari din oţel sau fontă.

TABELUL 7.5

Reacţii exoterme la sudarea prin topire cu termit

Reacţia termică	Efect termic	
	Kcal/mol	Kcal/1 kg amestec
$3Fe_3O_4+8Al \rightarrow 4Al_2O_3+9Fe$	773,70	850
$Fe_3O_4+4Mg \rightarrow 4MgO+3Fe$	317,90	970
$Fe_3O_4+2Si \rightarrow 2SiO_2+3Fe$	145,50	506

7.3. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE ELECTRICĂ

Marea majoritate a procedeelor de sudare prin topire utilizează energia electrică pentru realizarea surselor de căldură. Dintre acestea, cele mai importante surse electrice de căldură sînt *descărcarea electrică în medii ionizante* (arcul electric, jetul şi arcul de plasmă) şi *efectul Joule* creat în medii solide sau lichide cu bună conductivitate electrică.

7.3.1. FORMAREA ARCULUI ELECTRIC ÎN CURENT CONŢINUU

Prin legarea electrodului la polul negativ şi piesa de sudat la polul pozitiv (polaritate directă), în circuit apare tensiunea de mers în gol (U_0) a sursei de curent. Punînd în contact, pentru o fracţiune de secundă, electrodul cu piesa de sudat, prin care trece un curent de scurtcircuit (I_{sc}), are loc topirea electrodului şi a piesei în locul interacţiunii. După ridicarea la mică distanţă a electrodului, catodul începe să emită electroni. Aceşti electroni fiind accelerați în cîmpul electric exterior, în mişcarea lor spre anod se ciocnesc cu atomii de gaze, pe care îi ionizează. Ionii pozitivi formaţi sînt atraşi spre catod. În spaţiul gazos al arcului electric au loc şi recombinări, cînd un ion pozitiv şi un electron nou dă un atom

Scanned with OKEN Scanner

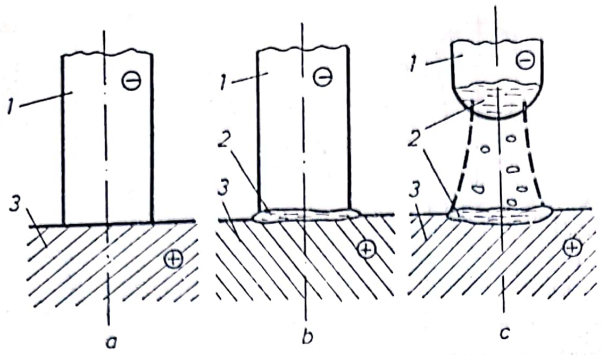


Fig. 7.15. Fazele aprinderii arcului electric: **a** — scurtcircuitarea; **b** — topirea locală; **c** — stabilirea arcului; **1** — electrod fuzibil; **2** — metal lichid; **3** — piesa de sudat.

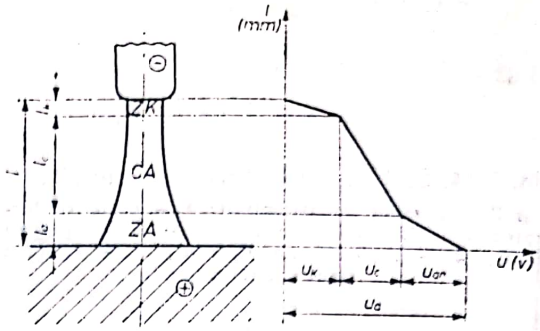


Fig. 7.16. Variația tensiunii în lungimea arcului:
ZK — zona catodică; **ZA** — zona anodică; **CA** — coloana arcului.

neutru. Ca urmare a acestui fenomen, are loc o degajare intensă de căldură și o puternică emisie luminoasă.

În cadrul procesului de formare și funcționare a arcului electric pentru sudare, se disting trei perioade succesive:

— *aprinderea arcului* (fig. 7.15) este perioada tranzitorie de amorsare a descărcării electrice, cu etapele descărcare în scînteie și scînteie-arc; aprinderea are loc în urma contactului metalic între electrod și piesă *(a);* prin efectul Joule, curentul de scurtcircuit încălzește puternic zona rezistenței de contact provocînd o topire locală *(b);* retrăgînd electrodul, are loc amorsarea propriu-zisă a descărcării *(c);* amorsarea arcului este înlesnită de emisia termo și autoelectronică ce se realizează la temperatură ridicată și intensitate mare de cîmp electric datorită distanței mici între elementele în interacțiune;

— *perioada arcului staționar,* corespunde arderii stabile a arcului la o tensiune U_a și un curent de sudare I_s, în cadrul unui echilibru cvasistaționar al fenomenelor de ionizare-recombinare, disociere-asociere, excitare-dezexcitare etc. care au loc în coloana arcului; ionizarea intensă a acestui spațiu creează o conductibilitate electrică ridicată a coloanei arcului care asigură trecerea de curenți mari la căderi mici de tensiune (2—3 V/mm). În figura 7.16 este prezentată repartizarea tensiunii în lungimea arcului; diferența mare de potențial (U_k) în zona catodului, unde se consideră că nu există ciocniri între particule, înlesnește accelerarea electronilor spre anod și a ionilor spre catod; energia cinetică acumulată de aceste particule este cedată la impactul cu rețeaua cristalină, formînd porțiuni foarte calde și intens luminoase (pete electrodice) pe vîrful electrodului — *pata catodică* și pe piesa de sudat — *pata anodică.*

Pata catodică este de mici dimensiuni și are o mare densitate de curent (j_k) la valori mici ale curentului de sudare; odată cu creșterea curentului de sudare, secțiunea petei catodice (A_{pk}) crește, iar densitatea curentului scade sensibil (fig. 7.17). Temperatura petei catodice, depinzînd de natura electrodului, poate fi de circa 2 500 K la Fe și de 3 700 K la W.

Pata anodică are o densitate (j_{an}) constantă de curent (la Fe, j_{an} = =8,8 A/mm²), indiferent de mărimea curentului, avînd o temperatură mai ridicată la catod (2 600 K la Fe, 4 250 K la W); această încălzire mai intensă a anodului poate fi explicată astfel: pentru emisia electronică în zona catodică se cheltuiește lucru mecanic de ieșire, din contul

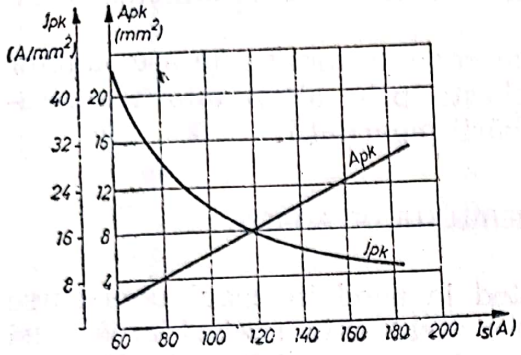


Fig. 7.17. Variația suprafeței petei catodice și a densității de curent.

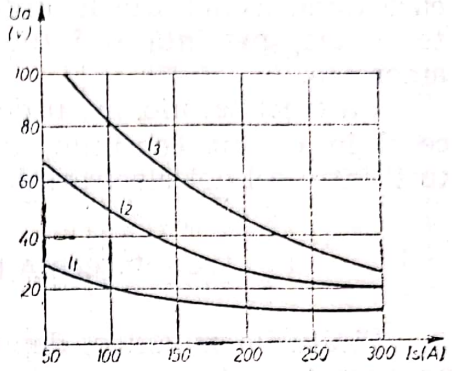


Fig. 7.18. Caracteristica statică a arcului pentru diverse lungimi de arc.

electrodului, iar prin intrarea electronilor în anod se restituie această energie în contul anodului (piesei de sudat).

Funcționarea stabilă a arcului este posibilă la valori diferite ale parametrului regimului de sudare (tensiunea U_a, curentul I_s și lungimea arcului l). Interdependența acestor parametri, numită *caracteristica statică a arcului*, este reprezentată în figura 7.18 ca un fascicul de curbe $U_a=f(I_s)$, pentru diverse valori ale lungimii arcului (l);

— *stingerea arcului* este posibilă în două situații: la valori foarte mari ale lungimii arcului, descărcarea nu mai este posibilă deoarece tensiunea cerută depășește limita caracteristicii statice a arcului, ionizarea atmosferei înconjurătoare scade și arcul se stinge; cînd $l=0$ (la apropierea excesivă de piesă sau la formarea unei punți de metal lichid între electrod și piesă), sursa de sudare funcționează în scurtcircuit.

7.3.2. FORMAREA ARCULUI ELECTRIC ÎN CURENT ALTERNATIV

Are loc în condiții mai grele de întreținere a descărcării în arc, deoarece perioadele de aprindere, ardere și stingere a arcului se succed cu dublul frecvenței tensiunii (în cazul frecvenței industriale, de 100 ori). În acest scop, folosind și un mediu gazos cu potențial de ionizare mai scăzut, se realizează un defazaj φ între tensiunea de alimentare sinusoidală U_2 și tensiunea arcului de sudare U_a (prin reglarea corespunzătoare a inductivității circuitului), astfel ca, la trecerea curentului prin zero, $U_2>U_a$ (fig. 7.19). Tensiunea U_a are o maximă corespunzătoare amorsării arcului, după

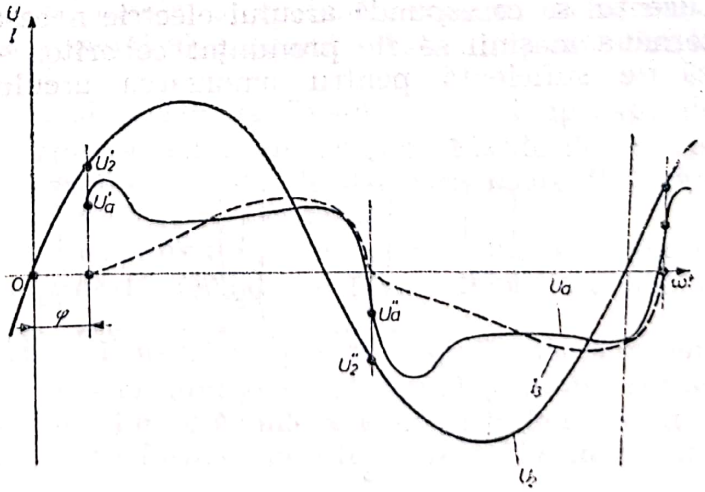


Fig. 7.19. Realizarea defazajului între tensiunea de alimentare și cea a arcului.

care tinde asimptotic la ordonată, iar curentul de sudare I_s, în fază cu tensiunea, prezintă o întîrziere la aprindere datorită fenomenului de amorsare.

Ca efect termic, arcul de sudare în curent alternativ este asemănător celui în curent continuu, însă se deosebește prin alternanța temperaturii între cei doi electrozi datorită schimbării polarității.

7.3.3. TRECEREA PRIN ARC A METALULUI DE ADAOS

Picăturile metalice, depuse de la catod la anod în cazul unei surse de curent continuu, *trec întotdeauna spre piesă* prin spațiul arcului și se depun în baia de sudură, chiar și în cazul nerespectării acțiunii forței gravitaționale. Acest fenomen poate fi explicat pe seama efectului următoarelor forțe:

— *forța de propulsie* F_p (fig. 7.20, *a*), ca urmare a apariției și extensiei unor bule de oxizi vaporizați la temperaturi înalte; spre exemplu, combinarea carbonului cu oxigenul rezultat din descompunerea unor oxizi metalici, de pildă FeO, rămași ca impurități în vergeaua metalului de adaos;

— *forța electromagnetică* $F=F_M-F_e$ (fig. 7.20, *b*) apare în cazul arcului scurt, cînd picăturile formează punți de scurtcircuitare, determinînd o creștere bruscă a curentului I_s, urmată de sporirea forțelor de atracție între liniile de curent și avînd ca efect gîtuirea picăturii. În același timp apar și componentele axiale ale forțelor electromagnetice F_M către metalul de bază și F_e către electrod. Datorită nesimetriei cîmpului magnetic (secțiunea băii metalice este mai mare decît cea a electrodului), întotdeauna $F_M>F_e$. Acest fenomen este avantajos la sudarea în regim greu cînd se preferă arcul scurt și electrozi care dau picături mari de metal depus.

7.3.4. SURSE PENTRU SUDAREA ELECTRICĂ CU ARC

7.3.4.1. **Condiții necesare.** Sursele de curent pentru sudare sînt mașini electrice speciale, care trebuie să îndeplinească condițiile: tensiunea și curentul să corespundă arcului electric necesar sudării; caracteristica externă a mașinii să fie pronunțat coborîtoare; tensiunea de mers în gol să fie suficientă pentru amorsarea arcului și stabilizarea acestuia;

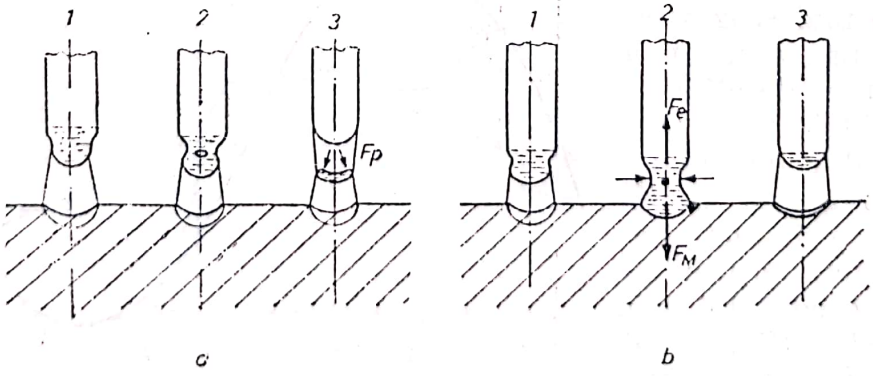


Fig. 7.20. Fazele trecerii prin coloana arcului a picăturii de metal de adaos.

Scanned with OKEN Scanner

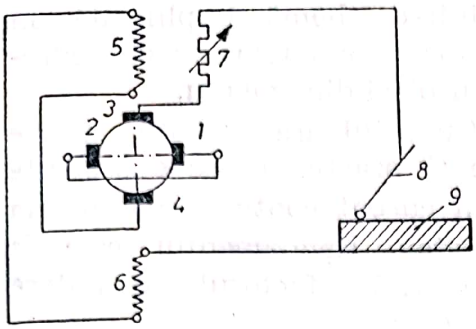


Fig. 7.21. Schema simplificată a generatorului pentru sudare:

1, 2 — perii scurtcircuitate ale polilor ajutători; 3, 4 — perii colectoare ale curentului de sudare; 5, 6 — bobine principale; 7 — rezistență variabilă; 8 — electrod; 9 — piesa de sudat.

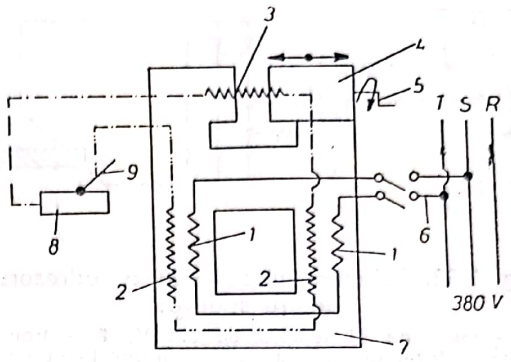


Fig. 7.22. Schema simplificată a transformatorului pentru sudare:

1 — bobina primară; 2 — bobina secundară; 3 — bobina de reactanță; 4 — miezul mobil al bobinei de reactanță; 5 — mecanism elicoidal; 6 — alimentare de la rețeaua de curent; 7 — miezul de fier al transformatorului; 8 — piesa de sudat; 9 — electrod.

curentul de scurtcircuitare să nu depășească cu mai mult de 20—40% curentul de sudare; curentul de sudare să fie cît mai constant; să aibă pierderi în gol reduse; să fie de construcție simplă și ieftină și să permită un reglaj fin și ușor.

7.3.4.2. **Generatorul de sudare.** Este ansamblul compus dintr-un generator de curent continuu, cu caracteristică externă pronunțat coborîtoare, antrenat de un motor care poate fi electric, cu ardere internă sau hidraulic.

În figura 7.21 este reprezentată schema simplificată a unui generator de tip *GES*, fabricat în țara noastră la Întreprinderea de mașini electrice din București.

Generatorul de sudare permite sudarea cu toate tipurile de electrozi a oțelurilor, fontelor, neferoaselor, chiar la valori mici ale curentului. Cordonul de sudură este mai omogen, neted și cu penetrație mare.

7.3.4.3. **Transformatorul de sudare.** Este prezentat în schema simplificată (fig. 7.22) și este mai frecvent folosit (robust, întreținere simplă, cost redus).

Reglarea regimului de sudare se obține la schimbarea rezistenței inductive a bobinei de reactanță, pentru o tensiune neschimbată de mers în gol, prin deplasarea blocului mobil al miezului bobinei de reactanță la rotirea mecanismului elicoidal 5.

Randamentul transformatorului este de 75—85%, fiind aproape de două ori mai mare decît al generatorului de sudare. Pierderile în gol sînt de 0,25 kW, iar factorul de putere este de 0,4 care poate fi îmbunătățit pînă la 0,7 prin folosirea bobinei de reactanță.

Are însă dezavantajul că încărcarea fazelor curentului este nesimetrică, legarea la rețeaua trifazată făcîndu-se între două faze sau o fază și un nul.

7.3.4.4. **Redresorul de sudare.** Este folosit pentru transformarea curentului alternativ în curent mediu continuu și se compune dintr-un *transformator trifazic,* care reduce tensiunea și mărește intensitatea curentului, și dintr-un *redresor* care transformă curentul alternativ în curent continuu.

Redresoarele pot fi de tipul uscate — cu plăci redresoare și de tipul umede — cu lămpi de mercur.

Scanned with OKEN Scanner

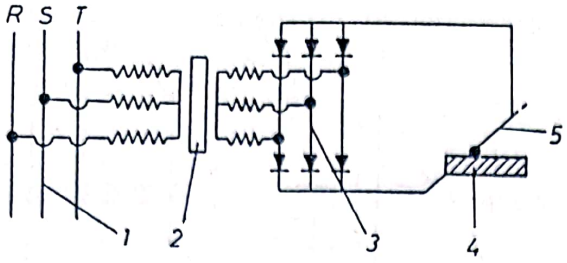


Fig. 7.23. Schema simplificată a redresorului pentru sudare:

1 — rețea de alimentare de 380 V; 2 — transformator trifazic de sudură; 3 — redresor uscat cu seleniu; 4 — piesa de sudat; 5 — electrodul.

În figura 7.23 este reprezentat, într-o schemă simplificată, un transformator cuplat cu un redresor cu plăci din seleniu.

Curentul are oscilații foarte slabe și practic nu se deosebește de un curent continuu dat de un generator. Randamentul este de 53—66%, iar factorul de putere 0,57—0,83.

7.3.5. SUDAREA MANUALĂ CU ARC ELECTRIC DESCHIS ȘI ELECTROZI ÎNVELIȚI

7.3.5.1. **Procesul formării cusăturii.** Arcul arde între vîrful electrodului și baia metalică formată între piesele de sudat *2, 3*. Electrodul, sub formă de vergea este învelit cu pastă (flux de sudare), avînd un capăt *5* liber (fig. 7.24) prins în portelectrod *6*.

Portelectrodul asigură fixarea vergelei de adaos și conectarea, prin cablul de legătură *8*, la unul dintre polii sursei de curent pentru sudare. Celălalt pol al sursei este legat la piesa de sudat prin cablul *10* și clema *9*.

În figura 7.25, este reprezentat procesul formării cusăturii. Coloana arcului electric *3* se formează între vîrful inimii metalice a electrodului *1* și baia de metal topit *6*. Căldura degajată de arcul electric topește metalul din vîrful vergelei, din care se desprinde picătura *4* ce se depune în cusătură.

Baia de metal topit conține și metal de bază pe adîncimea de pătrundere *a*. Prin cristalizarea băii, rezultă cusătura *10* de lățime *c*. Datorită excesului de metal de adaos topit, cu scopul asigurării unui coeficient de siguranță al îmbinării, cordonul de sudură se realizează cu supraînălțarea *b*.

Odată cu vergeaua metalică se topește și învelișul *2* luînd forma de pîlnie; aceasta dirijează gazele generate, sub formă de jet, deasupra băii.

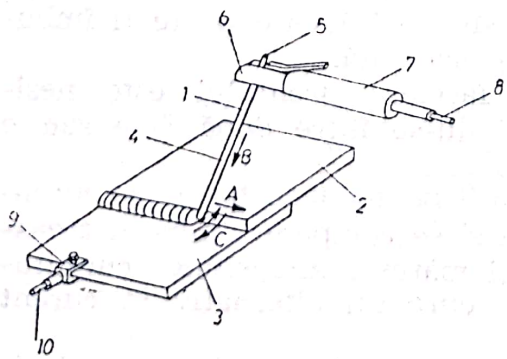


Fig. 7.24. Principiul procedeului.

Acțiunea mecanică a jetului (suflaj) contribuie la sporirea penetrației și omogenizarea băii. Prin solidificarea zgurei *7*, se formează o crustă *8* care protejează termic și chimic cusătura *10*.

7.3.5.2. **Tehnologia sudării.** Constă în următoarele etape:

a) Stabilirea condițiilor și parametrilor de sudare: configurația și dimensiunile pieselor, tipul îmbinării, poziția de sudare, ordinea cordoanelor

Scanned with OKEN Scanner

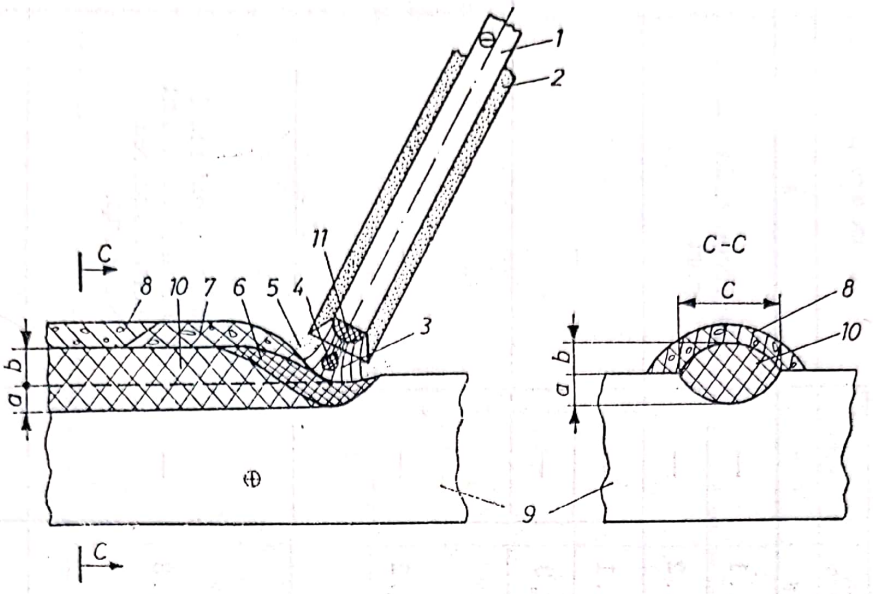


Fig. 7.25. Procesul formării cusăturii cu arc electric deschis și electrod învelit.

etc.; intensitatea curentului I, viteza de sudare v_s, grosimea pieselor S și diametrul electrodului (d), pentru care:

$$d=1{,}5\sqrt{S}; \tag{7.9}$$

$$I=(\alpha+\beta\, d)d, \tag{7.10}$$

unde: $\alpha=20$ și $\beta=6$ sînt valori stabilite experimental.

Viteza de sudare v_s se determină funcția de corelarea condițiilor de productivitate și de geometrie a îmbinării.

Tensiunea arcului U_a este dată de relația:

$$U_a=\Delta+\gamma\, l, \tag{7.11}$$

unde: Δ este suma căderilor de tensiune la anod și la catod (pentru oțel — 10 ... 12 V); γ — căderea medie de tensiune (2 ... 3 V/mm); l — lungimea arcului, în mm.

În tabelul 7.6 sînt prezentate unele recomandări privind regimul de sudare manuală cu arc electric.

TABELUL 7.6

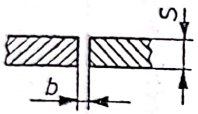
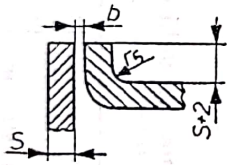
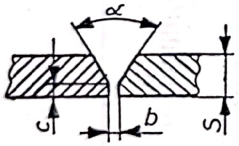
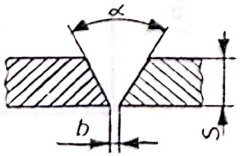
Parametri ai regimului de sudare manuală cu arc electric și principalii indicatori tehnico-economici

Tipul și forma cusăturii	Grosimea tablei, mm	Numărul de straturi	Diametrul electrodului, mm	Intensitatea curentului, A	Norma medie de timp, min/m	Energia consumată, kWh/m
Cap la cap, în I	1 ... 4	1	1,5 ... 4	40 ... 135	3 ... 10	0,8 ... 1
Cap la cap, în V	5 ... 12	1 ... 4	3,25 ... 5	135 ... 240	12 ... 40	1 ... 2,5
Cap la cap, în X	15 ... 25	4 ... 10	4—8	150 ... 450	40 ... 80	3 ... 6
Cap la cap, în U	20 ... 30	8 ... 13	5—8	200 ... 450	70 ... 110	5,5 ... 8

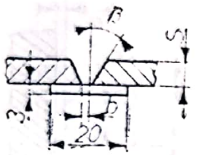
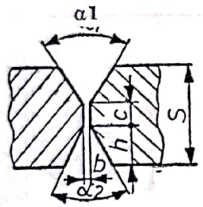
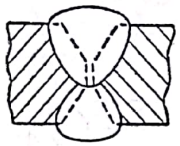
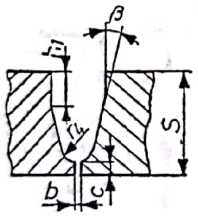
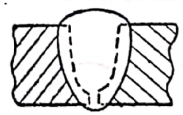
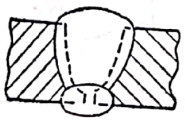
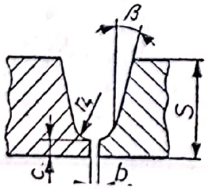
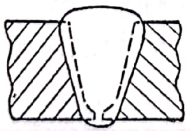
Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.7

Forme și dimensiuni ale îmbinărilor la sudarea manuală cu arc electric (după STAS 6662-62)

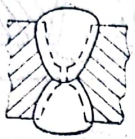
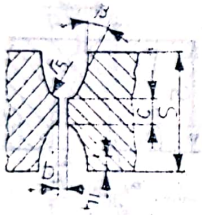
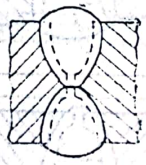
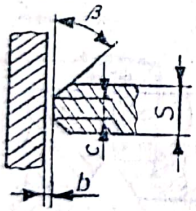
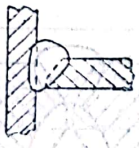
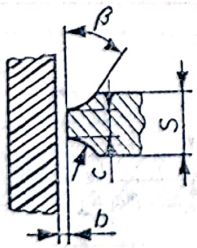
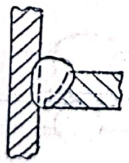
Denumirea cusăturii	Forma rostului	Forma îmbinării	Grosimea metalului de bază S, mm	Dimensiunile rostului			Observații
				α, β, grad	b, mm	c, mm	
1	2	3	4	5	6	7	8
Sudura în I			pînă la 1	—	0...1	—	Se recomandă suport
			1...3	—	0...2	—	
			pînă la 2	—	0...1	—	—
			2...5	—	1...3	—	
Sudura în I cu margine răsfrîntă			pînă la 4	—	0...2	—	—
Sudura în Y			3...20	50...60	0...3	—	Valorile mai mari ale unghiului sînt pentru sudarea peste cap.
Sudura în V			3...20	50...60	0...3	1...3	Se recomandă pentru prelucrarea mecanică a marginilor

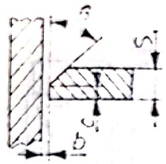
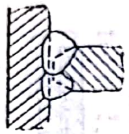
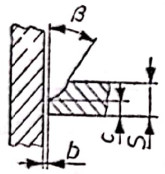
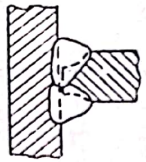
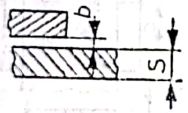
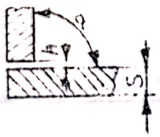
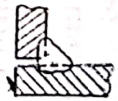
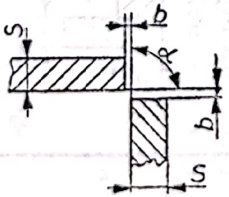
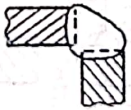
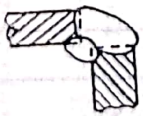
Scanned with OKEN Scanner

Sudură în V pe suport.			> 6	8 . . . 12	4 . . . 8	—	Suport de oțel
Sudura în X			12 . . . 40	$\alpha_1 = 50 \ldots 60$ $\alpha_2 = 50 \ldots 90$	1 . . . 3	0 . . . 2	$\alpha_2 > 60°$; se aplică la sudarea nesimetrică $h \approx (1/2 \ldots 1/3)S$
Sudura în U		 	15	8 . . . 12	0 . . . 3	1,5 . . . 3,5	
Sudura în U (specială)			> 40	8 . . . 12	0 . . . 3	1,3 . . . 3,5	$h_1 \approx \frac{S}{4}$

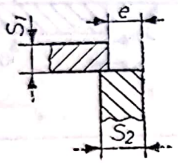
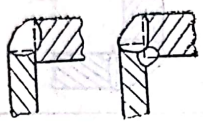
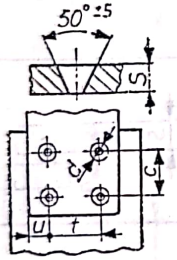
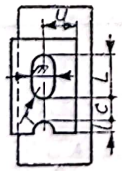
Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.7. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
Sudura în dublu U			$\geqslant 30$	8 ... 12	0 ... 3	2 ... 4	$h \approx (1/2 \ldots 1/3)S$
Sudura în dublu U (specială)			> 80	8 ... 12	0 ... 3	2 ... 4	$h_1 \approx \frac{S}{8}$
Sudura în 1/2 V			4 ... 20	45 ... 60	0 ... 3	0 ... 3	Se recomandă completarea la rădăcină
Sudura în 1/2 U			> 15	16 ... 20	0 ... 3	1,5 ... 3,5	Se recomandă completarea la rădăcină

Sudura în K			12 . . . 40	45 . . . 60	0 . . . 3	0 . . . 2	—
Sudura dublă în 1/2 U			> 30	16 . . . 20	0 . . . 3	1,5 . . . 3,5	—
Sudură pe colț cu margini suprapuse			> 2		0 . . . 2	—	—
Sudură pe colț			> 2	50	0 . . . 2	—	—
Sudură pe muchie		 	> 2	60 . . . 120	0 . . . 2	—	—

TABELUL 7.7. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
Sudura pe muchie			$S_1 > 2$	—	—	—	Se admite un rost pînă la 2 mm. $S_2 > S_1$ $e \geqslant S_1$
Sudură în găuri rotunde			$S > 2$ mm $d > 2S$ 1. Dimensiunile c, U, t se stabilesc la proiectare. 2. La $d > 30$ mm se admite sudarea pe conturul interior al gurii, fără umplerea acesteia. În acest caz, la grosimea tablei $S < 8$ mm nu este obligatorie teșirea găurii. La $S = 8 \ldots 16$ mm, teșirea se execută pe toată grosimea. La $S > 16$ mm, teșirea se face pe o dimensiune care asigură sudarea.				
Sudură în găuri alungite			$m > 2S$ $r = 0{,}5\ m$ 1. Dimensiunile c, U, L, se stabilesc la proiectare. 2. Se admite umplerea completă pe conturul interior al găurilor.				

Scanned with OKEN Scanner

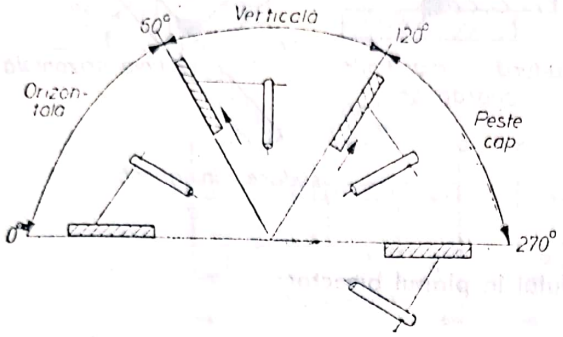


Fig. 7.26. Poziții în spațiu ale cusăturilor.

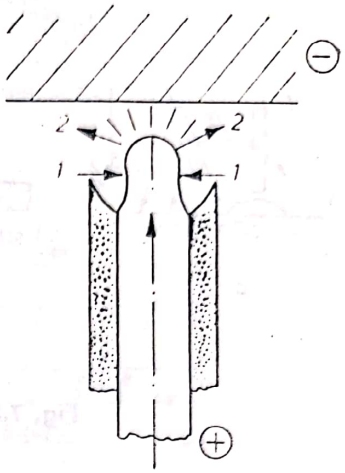


Fig. 7.27. Sudarea peste cap (picătura trece spre piesa de sudat).

b) Pregătirea marginilor pieselor în vederea sudării. Funcție de grosimea piesei, tipul și forma îmbinării (tab. 7.7.) marginile pieselor se prelucrează prin tăiere cu flacăra și apoi polizare sau așchiere prin cioplire cu dalta sau pe mașini speciale.

Asamblarea constă, într-o primă etapă, în prinderea în puncte de sudură de-a lungul cusăturii. Linia cusăturii poate avea funcție de gradul de incomoditate în execuție, următoarele poziții în spațiu (fig. 7.26). La poziția verticală, se sudează de jos în sus, cu arc scurt și electrozi subțiri; la poziția peste cap menținerea băii topite pe cusătură se realizează prin presiunea arcului și cu ajutorul tensiunii superficiale a metalului depus. În plus, apare strictiunea liniilor de cîmp magnetic creat de curentul de sudură (efectul Pinch), reprezentat în figura 7.27 prin vectorii *1*, precum și efortul microexploziilor de gaze provenite din oxidarea carbonului din materialul electrodului și materialelor organice din înveliș — vectorii *2*.

c) Reglarea sursei și realizarea circuitului electric în ansamblul sursă-piesă. Pe baza datelor stabilite prin calcul, abace sau statistic se reglează, pe sursa de curent, valorile curentului de sudare. Prin cablurile electrice și cu ajutorul conexiunilor speciale (cleme, papuci cu șurub, cleşte cu arc) se fac legăturile între sursă și piesă și între sursă și port electrod.

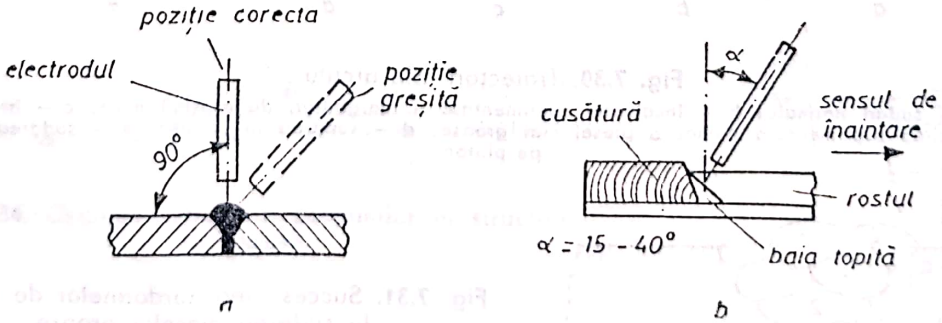


Fig. 7.28. Poziția corectă a electrodului în timpul sudării manuale cu arc electric:
a — secțiune transversală; b — secțiune longitudinală.

Scanned with OKEN Scanner

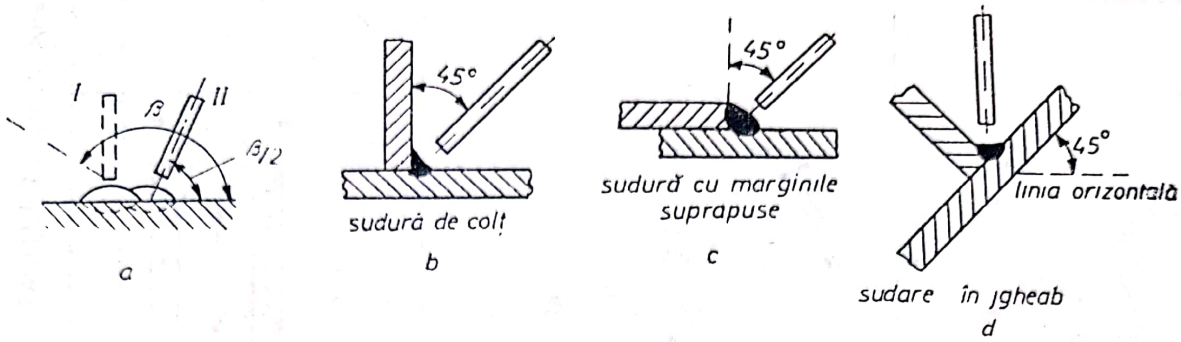


Fig. 7.29. Poziția electrodului în planul bisector.

d) Sudarea propriu-zisă. Amorsarea arcului electric se face în poziția normală pe piesă a electrodului, în vecinătatea cusăturii, după care arcul se deplasează în rost și se începe efectiv sudarea. În timpul sudării, electrodul se ține în planul bisector ale unghiului rostului și înclinat în direcția de înaintare, la un unghi $\alpha=15—30°$ față de normală (fig. 7.28). Dacă lîngă primul cordon se sudează al doilea, electrodul se menține în planul bisector al unghiului β (fig. 7.29, *a*), principiu respectat și la sudurile de colț sau cu margini suprapuse (fig. 7.29, *b* și *c*). Uneori piesele sînt poziționate în vederea sudării în jgheab (fig. 7.29, *d*).

Lungimea arcului, care trebuie să fie aproximativ egală cu diametrul electrodului, este menținută prin mișcarea în lungul electrodului pe măsură ce acesta se topește. Rezultanta celorlalte două mișcări (pe axa cusăturii, de pendulare) poate avea traiectorii diferite (fig. 7.30).

Pentru piese groase, ordinea realizării este prezentată în figura 7.31.

Funcție de lungimea cusăturii, un rînd de sudură poate fi realizat ca în figura 7.32. Pentru evitarea deformațiilor cusătura poate fi realizată pe segmente. Straturile se depun consecutiv și pe întreaga lungime a cusăturii (fig. 7.33, *a*), în cascadă (fig. 7.33, *b*) sau în trepte (fig. 7.33, *c*).

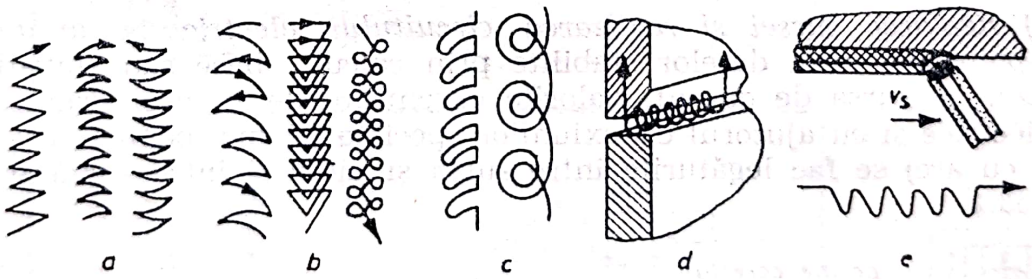


Fig. 7.30. Traiectorii ale arcului:
a — suduri normale; b — încălzirea suplimentară a marginilor, de grosimi mari; c — încălzirea suplimentară numai a piesei mai groase; d — sudarea în cornișă; e — sudarea pe plafon.

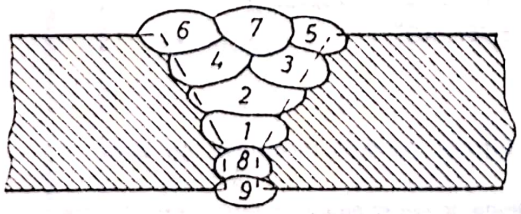


Fig. 7.31. Succesiunea cordoanelor de sudură la sudarea pieselor groase.

Scanned with OKEN Scanner

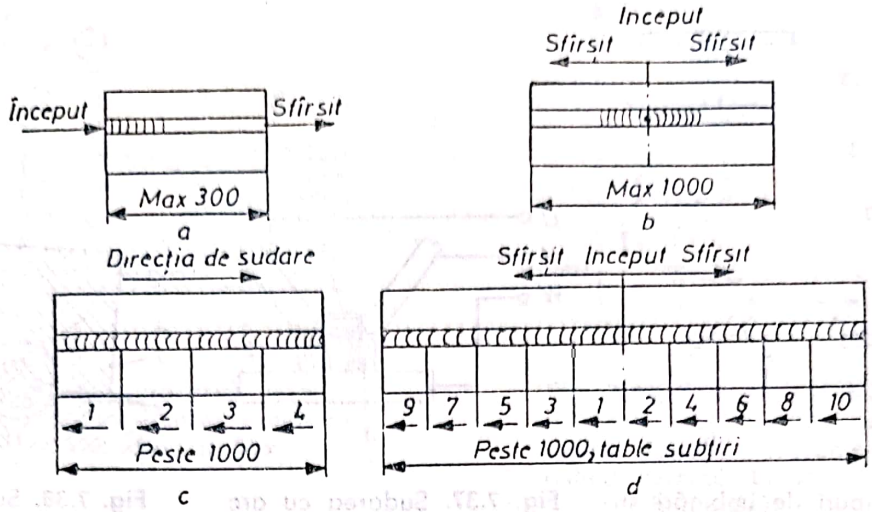


Fig. 7.32. Tehnici de lucru pentru sudarea unui cordon pe lungimi diferite.

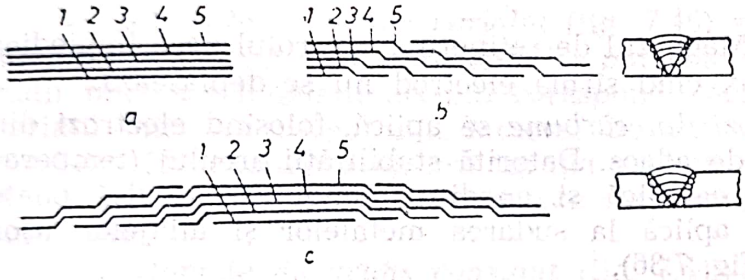


Fig. 7.33. Ordinea sudării în mai multe straturi.

La realizarea straturilor suprapuse, limitele porțiunilor sudate sînt decalate, iar sensurile de sudare alternează (fig. 7.34).

e) Încheierea operației de sudare: curățirea de zgură și stropi de sudură, îndepărtarea prin așchiere a supraînălțării cordonului, corectarea prin polizare a zonei de trecere între metalul de bază și cordonul de sudură.

7.3.5.3. **Alte metode tehnologice ale sudării cu arc deschis.** În mod curent se mai folosesc:

— *Sudarea cu flux magnetic* folosește un flux granulat metaloceramic, în locul pastei de pe electrod, cu proprietatea de a fi atras de sîrma neînvelită, sub acțiunea cîmpului magnetic circular generat la trecerea curentului de sudare. Granulele de flux se mențin pe electrod, cu un strat de grosimea determinată de mărimea orificiului de trecere al

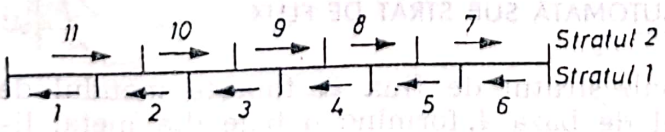


Fig. 7.34. Ordinea depunerii porțiunilor în structuri suprapuse.

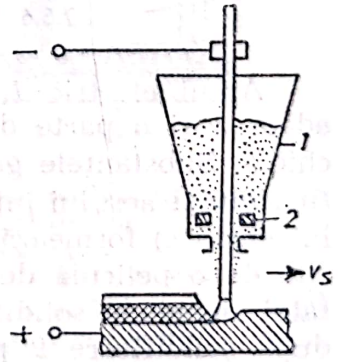


Fig. 7.35. Schema sudării cu flux magnetic.

Scanned with OKEN Scanner

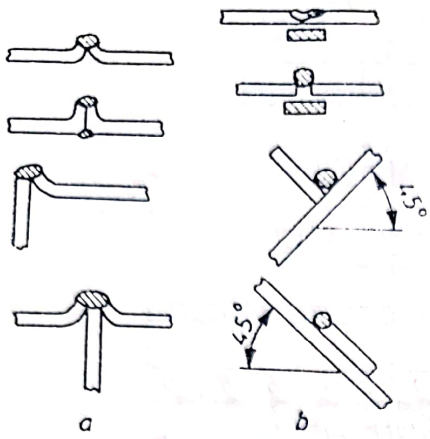


Fig. 7.36. Tipuri de îmbinări sudate cu electrozi din cărbune: a — fără material de adaos (grosimi pînă la 3 mm); b — cu material de adaos.

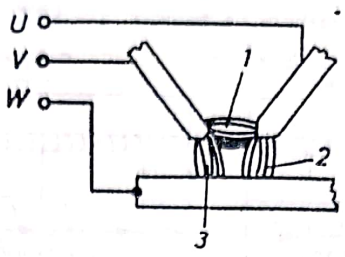


Fig. 7.37. Sudarea cu arc trifazat.

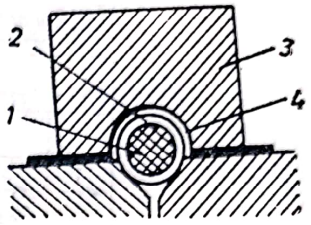


Fig. 7.38. Sudarea cu electrod culcat.

rezervorului *1* (fig. 7.35). Magnetul de reținere *2* are rolul de a împiedica trecerea granulelor de flux cînd sîrma electrod nu se deplasează.

— *Sudarea cu electrozi din cărbune* se aplică, folosind electrozi din grafit, cu sau fără metal de adaos. Datorită stabilității arcului (temperaturi mai mari în petele catodică și anodică), lungimea arcului poate atinge 30 . . . 50 mm. Se aplică la sudarea metalelor și aliajelor ușor fuzibile cu pereți subțiri (fig. 7.36).

— *Sudarea cu arc electric trifazat* se folosește pentru stabilitatea arcului și sporirea randamentului sudării, precum și pentru încărcarea simetrică a rețelei. Cei doi electrozi înveliți cu pastă de flux sînt conectați la cele două faze ale unui transformator trifazat de sudare, iar faza a treia la piesă. Prin închiderea circuitului electric apar trei descărcări în arc: între electrozi și între fiecare electrod și piesă (fig. 7.37).

— *Sudarea cu electrod în jgheab* (fig. 7.38). Electrodul *1* cu înveliș special subțire *2* este culcat în canalul cusăturii, peste care se așază o patină din cupru *3*, între care a fost interpusă izolația de hîrtie *4*. Piesa și un capăt al electrodului se conectează la sursa de sudare. După amorsare în celălalt capăt al electrodului, arcul arde constant cu o lungime egală cu grosimea învelișului. Pe măsură ce se consumă electrodul și se formează baia de metal topit din metalul de bază și cel de adaos, arcul se deplasează în lungul cusăturii.

7.3.6. SUDAREA AUTOMATĂ SUB STRAT DE FLUX

Arcul electric *1*, format sub stratul de flux *2*, topește metalul de adaos *3* și o parte din metalul de bază *4*, formînd o baie din metal lichid *5*. Substanțele gazoase (vapori de metal și elementele din componența fluxului și aerului intergranular volatilizate la temperatura înaltă a arcului electric) formează o cavitate *7* alungită în sens invers sudării, acoperită de o peliculă de zgură topită. Prin deplasarea arcului electric, metalul lichid se solidifică formînd cusătura sudată *6*, iar zgura topită *8* după solidificare *9* poate fi ușor îndepărtată prin ciocănire (fig. 7.39).

Scanned with OKEN Scanner

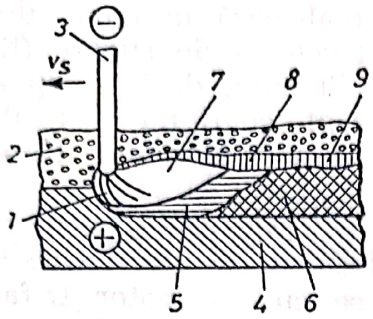


Fig. 7.39. Procesul formării cusăturii la sudarea automată sub strat de flux.

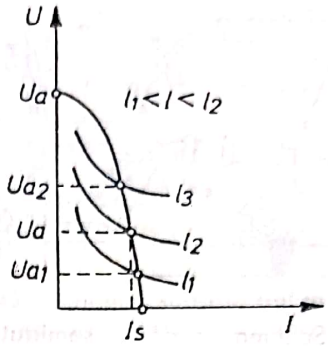


Fig. 7.40. Arderea arcului în cazul automatului cu avans variabil (caracteristică externă brusc coborîtoare).

Avansul sîrmei de adaos se face automat cu ajutorul *capetelor de sudare:*

— *automate cu avans variabil* (fig. 7.40) sînt utilizate la sursele de alimentare a arcului cu caracteristici puternic coborîtoare. Astfel, la variații mici ale lungimii arcului corespund variații mari ale tensiunii și variații mici ale curentului. Motorul de antrenare a sîrmei, de curent continuu (de cuplu mare), are turația reglată funcție de tensiunea U_a. Adică, la $U_{a1} < U_a$ avansul sîrmei este ușor micșorat, de la $U_{a2} > U_a$ avansul crește;

— *automate de avans constant* (fig. 7.41) se folosesc pentru sursele de sudare cu caracteristici externe cu pantă coborîtoare lină. În aceste condiții, la reducerea lungimii arcului, crește curentul și deci viteza de topire a sîrmei electrod, iar la sporirea lungimii arcului, scade curentul și viteza de topire, menținîndu-se astfel constantă lungimea arcului.

Funcție de realizarea deplasării relative între arc și piesă în lungul cusăturii, sudarea sub strat de flux poate fi:

a) *sudarea automată sub strat de flux,* la care mișcarea de apropiere a sîrmei-electrod pentru păstrarea constantă a lungimii arcului și miș-

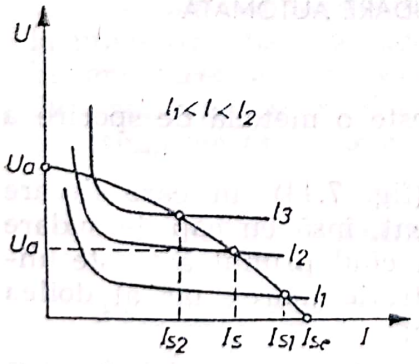


Fig. 7.41. Arderea arcului în cazul automatului cu avans constant (caracteristică externă cu pantă coborîtoare lină).

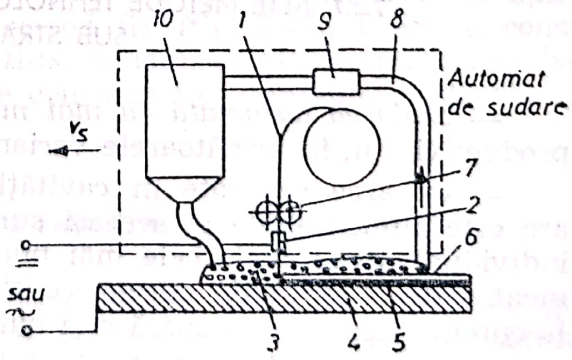


Fig. 7.42. Schema sudării automate sub strat de flux:

1 — sîrma de adaos; 2 — contact electrozi; 3 — strat de flux; 4 — piesa de sudat; 5 — cusătura; 6 — strat de zgură; 7 — role de avans; 8 — conductă de aspirație; 9 — aspirator de flux; 10 — bunker.

Scanned with OKEN Scanner

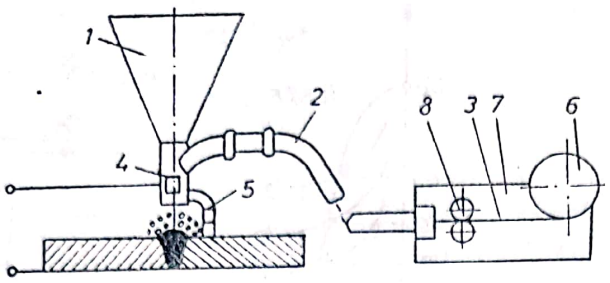


Fig. 7.43. Schema sudării semiautomate sub strat de flux.

carea de-a lungul cusăturii se realizează în mod automat cu *tractorul* de sudare (fig. 7.42), alimentat de la o sursă de curent continuu sau alternativ, de puteri mari (I_s=1 000 ... ... 2 000 A).

Deplasarea pentru realizarea vitezei de sudare V_s se face cu un motor trifazat care antrenează un cărucior, prevăzut cu role profilate pentru șinele de ghidare, pe care se află întregul automat. Odată cu deplasarea căruciorului, sîrma electrod *1* extrasă din casetă, este antrenată de rolele *7* și trece spre zona de sudare, prin patina *2* conectată la sursa de curent. Buncărul *10* conține flux granulat pe care îl depune sub un strat de secțiune constantă înaintea arcului. În unele cazuri, acesta poate fi dotat cu tubulatura *8* și aspiratorul *9* pentru recircularea fluxului netopit;

b) sudarea semiautomată sub strat de flux constă în realizarea automată a avansului electrodului și manuală a mișcării în lungul cusăturii. În figura 7.43 este prezentată schema simplificată a unei instalații de sudare semiautomate. Capul de sudat portabil este prevăzut cu un rezervor de flux *1* și un tub flexibil *2* prin care trece sîrma electrod *3*. Pentru păstrarea constantă a lungimii arcului, capul de sudare este prevăzut cu un distanțier reglabil cu role *5*. Sîrma din caseta *6* este împinsă în interiorul tubului flexibil de către rolele *8* ale mecanismului *7* antrenat de un motor de curent continuu. Arcul este alimentat, de regulă, de la o sursă de curent continuu de I_s=500 ... 600 A.

Sudarea automată sub strat de flux are o largă aplicare la îmbinarea pieselor din oțel carbon, oțeluri slab și mediu aliate, oțel inoxidabil, cupru, nichel, aluminiu, titan, și aliajele acestora. Pot fi realizate suduri cu adîncimi de pătrundere de 1 ... 120 mm, la viteze de sudare de 10 ... 300 m/h, cu sîrme electrod de 1,2 ... 14 mm.

7.3.7. ALTE METODE TEHNOLOGICE DE SUDARE AUTOMATĂ SUB STRAT DE FLUX

— *Sudarea automată cu mai multe arce* este o metodă de sporire a productivității, în următoarele variante:

— cu arce separate în cavități diferite (fig. 7.44), în care fiecare arc este alimentat de la aceeași sursă de curent, însă cu cap de sudare individual. Rezultatele cele mai bune se obțin cînd primul arc este alimentat de o sursă de curent continuu (penetrație mare), iar al doilea la curent alternativ (acoperă mai bine cusătura);

— cu arce independente, însă în aceeași cavitate (fig. 7.45), în care primul arc realizează pătrunderea necesară și încălzește metalul de bază în zonă, iar al doilea acoperă cordonul dîndu-i forma definitivă;

— cu arce gemene (fig. 7.46), cu aceeași lungime de arc în cavitate comună, alimentate de la sursă unică de curent. Plasate la distanță corespunzătoare, arcele dau cusături de lățime sporită.

Scanned with OKEN Scanner

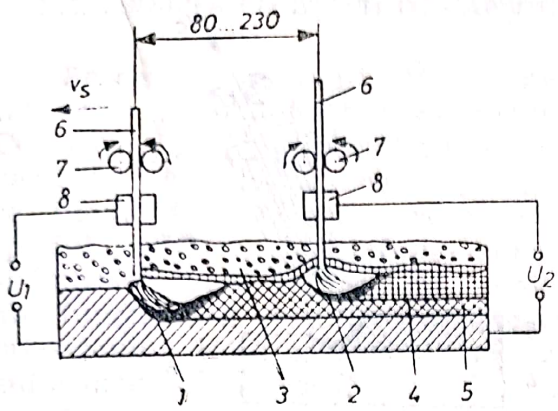


Fig. 7.44. Schema sudării automate cu arce separate decalate:
1, 2 — arc electric; 3 — flux; 4, 5 — cordon; 6 — sîrmă; 7 — role de avans; 8 — sursa de curent.

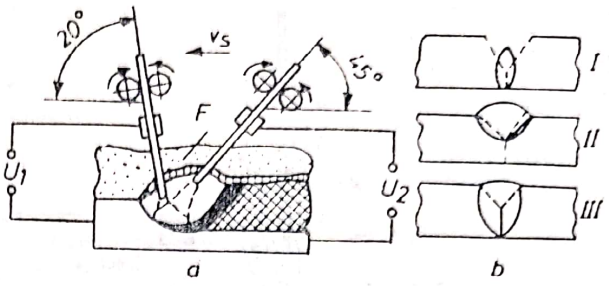


Fig. 7.45. Schema sudării automate cu arce separate în aceeași cavitate:
I — depunerea arcului anterior; II — depunerea arcului posterior; III — depunerea cumulată.

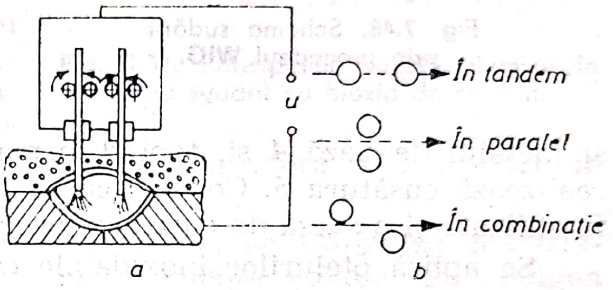


Fig. 7.46. Sudarea cu arce gemene:
a — principiul metodei; b — schema de lucru a arcelor.

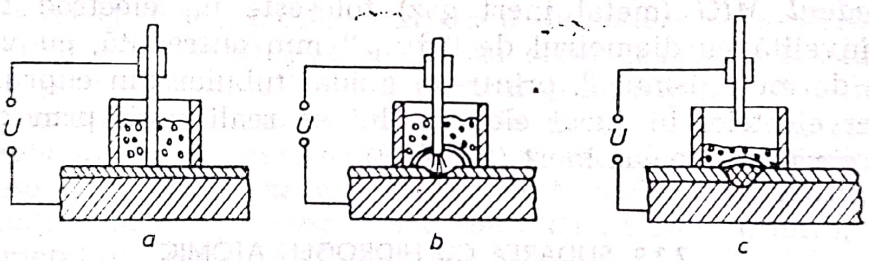


Fig. 7.47. Fazele principale ale procedeului electronituirii sub flux:
a — starea inițială; b — în timpul funcționării arcului; c — după stingerea arcului.

— *Sudarea automată cu electrod lamelar,* de grosime 0,5 ... 1,6 mm și lățime 20 ... 100 mm, se aplică la încărcarea prin sudare.

— *Sudarea semiautomată în puncte topite* (electronituirea) se aplică la îmbinarea tablelor subțiri, cu electrod fix (fig. 7.47). Procesul constă în amorsarea arcului sub strat de flux, arderea acestuia, realizarea băii de metal topit și, cînd electrodul se consumă pe o anumită distanță, are loc stingerea de la sine a arcului.

7.3.8. SUDAREA CU ARC SUB PROTECȚIE DE GAZE INERTE

Procedeul constă în acoperirea arcului cu o perdea densă de gaz inert care asigură protecția cusăturii la acțiunea oxigenului și azotului din atmosfera înconjurătoare. Cel mai frecvent utilizat este argonul, mai rar heliul.

Se folosesc două metode:

Procedeul WIG (wolfram inert gaz), cu electrod nefuzibil. Arcul *1* arde între electrodul de wolfram thoriat *2* într-o perdea de gaz inert *3*

Scanned with OKEN Scanner

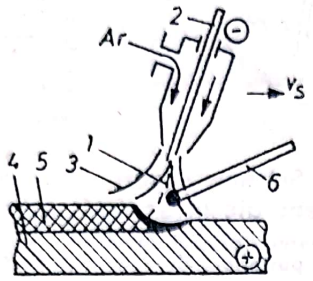


Fig. 7.48. Schema sudării prin procedeul **WIG.**

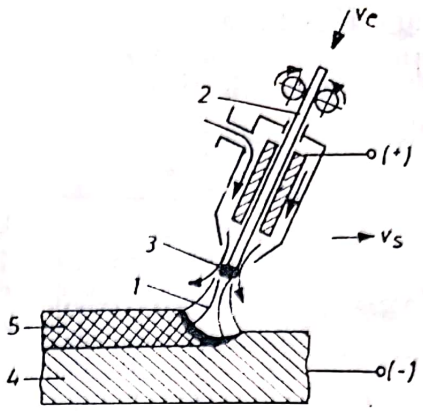


Fig. 7.49. Schema sudării prin procedeul **MIG.**

și metalul de bază *4* și, topind sîrma de adaos *6* și metalul de bază *4*, realizează cusătura *5*. Conectarea se face cu polaritate directă, sau poate fi utilizată și o sursă de curent alternativ (fig. 7.48).

Se aplică oțelurilor inoxidabile cu crom, nichel și uneori cu molibden, cuprului, aluminiului și aliajelor acestora.

Procedeul MIG (metal inert gaz) folosește un electrod fuzibil din sîrmă neînvelită cu diametrul de 0,6 ... 2 mm antrenată, cu viteza constantă V_e de mecanismul *2*, printr-un ghidaj tubular din cupru, cu rol și de contact electric. În jurul electrodului se realizează, prin destindere, perdeaua circulară de gaz inert (fig. 7.49).

7.3.9. SUDAREA CU HIDROGEN ATOMIC

Constă în realizarea arcului electric între doi electrozi din wolfram, peste care se insuflă hidrogen (fig. 7.50). Arcul format în zona *1* disociază hidrogenul în proporție de 70%, după reacția endotermă:

$$H_2 \longrightarrow 2H—Q \text{ (J/mol)}, \qquad (7.12)$$

unde: $Q=421 \cdot 10^3$ J/mol. Astfel, hidrogenul atomic poartă o însemnată cantitate de energie calorică, dînd zonei *1* o mare intensitate luminoasă. Hidrogenul se reface molecular în zona *II* printr-o reacție exotermă. Metalul de bază și sîrma de adaos, sub influența acestei zone, se topesc și formează baia de metal topit și, apoi, cusătura, sub o pătură protectoare de hidrogen.

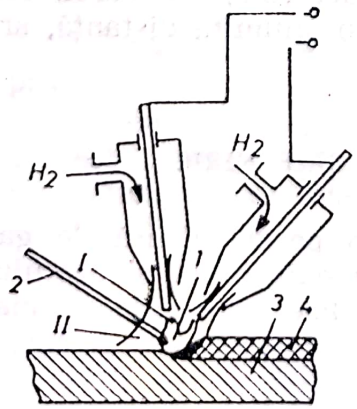


Fig. 7.50. Schema sudării cu hidrogen atomic.

Se aplică rar, la sudarea sau repararea pieselor din aliaje speciale (oțeluri înalt aliate, aliaje ușoare), datorită tensiunilor mari de amorsare (circa 300 V) și de lucru (50 ... 100 V), dar mai ales din cauza costului ridicat și randamentului relativ scăzut al sudării.

Scanned with OKEN Scanner

7.3.10. SUDAREA CU BIOXID DE CARBON

Procedeul denumit *MAG* (metal activ gaz), folosește ca mediu CO_2 care, în afara rolului protector, participă activ la procesul de sudare. Bioxidul de carbon trece prin spațiul inelar al capului de sudare și îmbracă arcul. În principiu, schema funcționării este asemănătoare procedeului *MIG*, însă în locul gazului inert se insuflă CO_2.

În figura 7.51 sînt schematizate principalele reacții care au loc în arc și baia de metal topit, unde oxidul de carbon și oxigenul interacționează cu elementele componente ale metalului lichid. Compușii rezultați trec în atmosferă (CO, vapori de H_2O) sau în zgură (SiO_2, MnO).

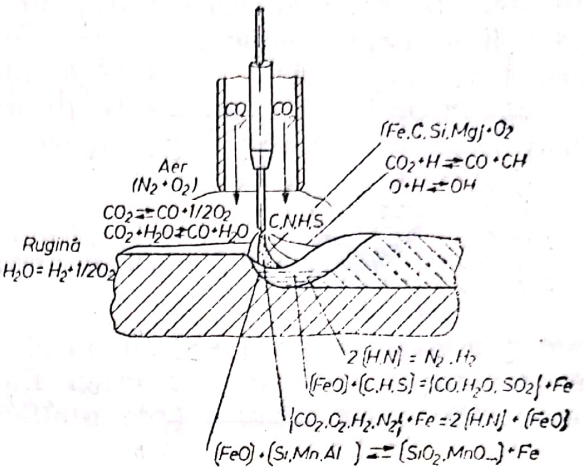


Fig. 7.51. Principalele reacții chimice în zona sudării cu bioxid de carbon.

În vederea diminuării efectului de oxidare, se utilizează materialele de adaos din sîrme aliate cu elemente avide de oxigen (0,8 ... 1,0% Si, 1,2 ... 1,5% Mn).

Funcție de grosimea pieselor, procesul de sudare se desfășoară diferențiat: pentru table subțiri, se utilizează *arcul scurt*, de tensiune mică, cu transfer prin scurtcircuit, cu diametrul picăturii egal sau mai mare decît lungimea arcului; pentru piesele de grosimi mijlocii, sudarea *cu transfer globular*, cu picături egale sau mai mici decît lungimea arcului; pentru piese de grosime mare, sudarea *cu transfer prin pulverizare*, la care densitățile de curent sînt foarte mari (circa 200 A/mm²), iar picăturile din metal de adaos sînt foarte mici.

Sudarea în CO_2 se aplică, de regulă, oțelurilor carbon și oțelurilor slab aliate cu 0,5 ... 1,0% Cr; 0,5 Mo și 0,2 ... 0,3% V.

Avantaje: productivitate ridicată; cost redus și pătrundere mare față de sudarea în mediu de gaze inerte; poate fi utilizat pentru suduri la poziție; marginile pieselor sînt mai puțin prelucrate; dirijarea vizibilă a arcului.

Dezavantaje: domeniu restrîns de oțeluri, datorită defectelor specifice (crăpături, pori etc.).

7.3.11. SUDAREA ÎN BAIE DE ZGURĂ

Procesul de sudare se desfășoară de jos în sus pe verticală și constă din următoarele fenomene fizico-chimice: curentul de sudare trece prin sîrma de adaos *1*, baia de zgură topită *2*, baia de metal lichid *3* și închide circuitul prin metalul de bază *4;* în baia de zgură are loc efectul Joule unde se dezvoltă o cantitate de căldură care menține baia formată din metal topit și zgură și topește în continuare materialul de adaos și marginile piesei; pe măsură ce se depune metal, baia se răcește în partea inferioară și formează cusătura *5;* în baia de zgură și între aceasta și metalul lichid are loc un proces metalurgic complex, determinat, îndeosebi, de repartiția cîmpului termic pe adîncimea h_b a băii de metal

Scanned with OKEN Scanner

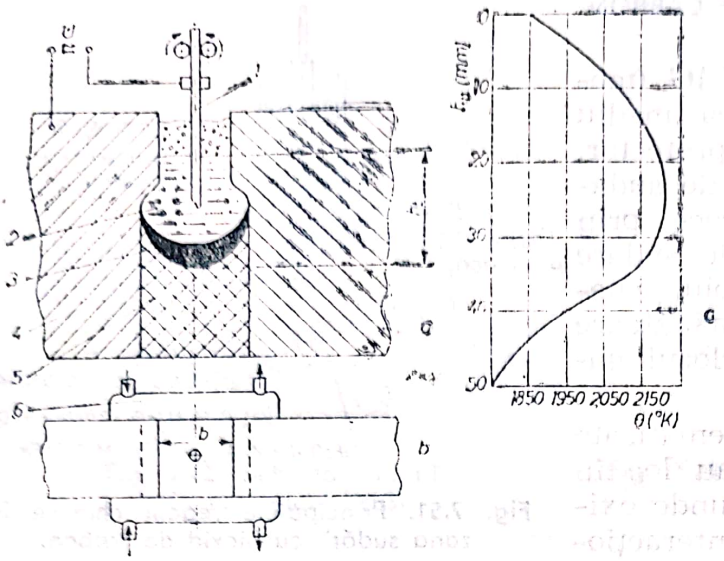


Fig. 7.52. Schema sudării în baie de zgură (**a, b**) și variația temperaturii în baia de metal și zgură topită (**c**).

lichid (fig. 7.52), unde temperatura cea mai ridicată este în zona băii de zgură; pentru ca zgura și metalul lichid să nu se scurgă, *patinele* din cupru, răcite cu apă, glisează pe verticală odată cu creșterea nivelului băii, închizînd spațiul de sudare.

În baia de zgură, la vîrful electrodului din sîrmă, unde temperatura este maximă, au loc reacții metalurgice de reducere a manganului și siliciului:

$$MnO+Fe \longrightarrow FeO+M \qquad (7.13)$$

$$SiO_2+2Fe \longrightarrow 2FeO+Si \qquad (7.14)$$

avînd ca efect trecerea treptată în zgură a oxizilor de Fe, urmată de încetinirea reacției. La suprafața de contact dintre baia de zgură și cea de metal, au loc reacții de oxidare a fierului și carbonului

$$Fe+Fe_2O_3 \longrightarrow 3FeO \qquad (7.15)$$

$$C+[O;\ MnO;\ SiO_2;\ FeO] \longrightarrow CO;\ CO+Mn;\ 2CO+Si;\ CO+Fe \qquad (7.14)$$

Celelalte elemente dăunătoare influențează nesemnificativ procesul metalurgic: sulful nu trece din baia de zgură în cusătură; fosforul trece în cantități mici și numai la începutul procesului.

La începutul sudării, are loc *amorsarea arcului* în mod analog de la sudarea sub strat de flux, urmată de o fază de formare a băii topite din metal și zgură. Trecerea procesului metalurgic la faza staționară are loc pe măsură ce se formează baia topită, cînd *arcul se stinge* și sursa de căldură este asigurată, în continuare, numai prin *efectul Joule*. Sudarea se începe pe plăci-tampon împotriva scurgerii, atașate la partea inferioară a cusăturii, care se îndepărtează la încheierea operației. Cordonul de sudură se continuă și după încheierea sudării la partea superioară, între 2 plăci tehnologice care se îndepărtează ulterior împreună cu retasura formată între ele.

Se utilizează la îmbinarea pieselor din oțel carbon și oțeluri aliate, însă rezultate din cele mai bune se obțin la oțeluri calmate. Grosimea elementelor asamblate poate fi de 40 ... 1 000 mm, în următoarele limite ale regimului de sudare: d=2,5 ... 4 mm; v_e = 250 ... 350 m/h; V_s= =0,8 ... 1,5 ml/h; U_a=42 ... 48 V; I_s=500 ... 700 A; este avantajos curentul alternativ la grosimi mari.

Scanned with OKEN Scanner

Avantajele procedeului sînt: productivitatea cea mai ridicată față de toate celelalte procedee din domeniul sudării (depunere pînă la 300 kg metal/oră la un singur electrod, față de 2 kg la sudarea manuală sau 12 kg la sudarea automată sub strat de flux); economie importantă de manoperă și materiale, marginile nu se pregătesc, putînd fi tăiate prin topire cu flacăra.

7.3.12. SUDAREA PRIN TOPIRE CU PLASMĂ TERMICĂ

Plasma termică se obține în generatoare de plasmă *(plasmatroane)* prin strictionarea jetului plasmei, ale cărei caracteristici (temperatură, stabilitate, intensitate, presiune, densitate etc.) satisfac pe deplin parametrii regimului de sudare.

În figura 7.53 este prezentată schema sudării cu jet de plasmă. Marginile celor două piese sînt topite și, sub presiunea jetului, baia de metal lichid este împinsă lateral (formînd un crater ca la sudarea cu arc deschis) și menținută prin tensiunea superficială pînă la cristalizare. Deoarece debitul de gaz plasmogen (argon, heliu) este insuficient pentru asigurarea protecției cusăturii, printr-un orificiu inelar *10* se insuflă un gaz auxiliar cu debit sporit (gaz plasmogen sau amestecat cu hidrogen).

Pot fi sudate toate materialele metalice, inclusiv cele sudabile numai în medii protectoare (procedeul *WIG*), într-un domeniu mai larg privind grosimea pieselor, timpul de execuție (mai redus), fără pregătire deosebită a marginilor. Astfel, dacă prin *WIG* se poate realiza la o singură trecere cusături de 3 mm grosime, la sudarea cu plasmă 7 mm și în plus fără pregătirea cusăturii. La grosimi peste 7 mm sînt necesare două treceri, cu margini în *Y*, unghi la 60 ... 70° și rădăcină de 4 ... 5 mm.

Microplasma se utilizează la îmbinarea pieselor subțiri, fiind obținută în domeniul curenților mici (0,2 ... 10 A). Arcul arzătoarelor de microplasmă este strictionat în duze cu alezajul de 0,8 mm, după sistemul arc transferat însoțit de arc pilot netransferat extern. Acest sistem de strictiune permite realizarea unei descărcări stabile cu lungime mare (pînă la 10 mm), cu care pot fi sudate piese din oțel inoxidabil, nichel, titan etc. de grosimi între 0,01 și 0,8 mm.

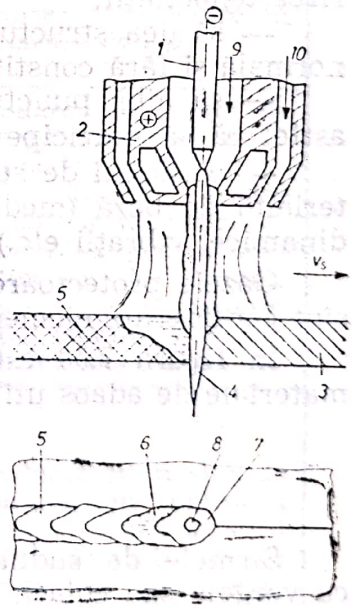


Fig. 7.53. Schema sudării cu plasmă:
1 — catod; 2 — anod; 3 — piesa de sudat; 4 — jet de plasmă; 5 — cusătură; 6 — baie de metal lichid; 7 — crater; 8 — orificiu; 9 — gaz plasmogen; 10 — gaz auxiliar.

7.4. MATERIALE DE ADAOS PENTRU SUDARE

7.4.1. ROLUL MATERIALELOR DE ADAOS

Se consideră material de adaos atît sîrma sau electrodul învelit care participă direct la formarea masei metalice a cusăturii, cît și învelișurile și fluxurile care contribuie la realizarea procesului metalurgic și modificarea compoziției chimice a cusăturii. Acestea trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici și funcțiuni:

Scanned with OKEN Scanner

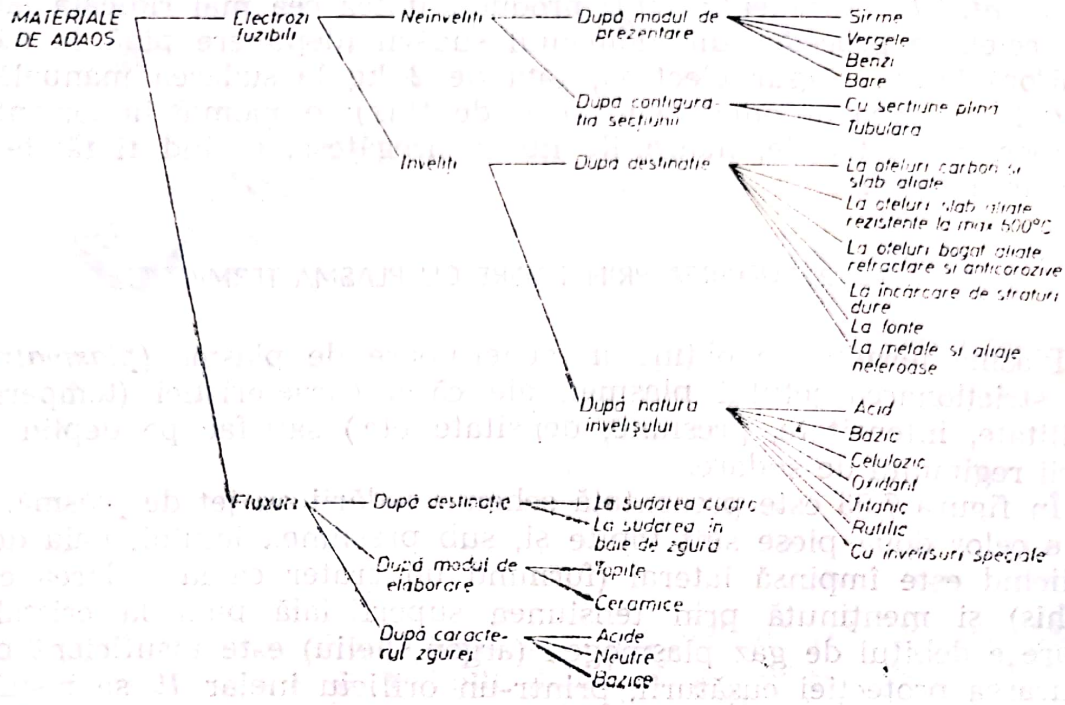


Fig. 7.54. Electrozi fuzibili și fluxuri pentru sudare.

— compoziția chimică să fie apropiată (pentru sîrmă, electrod) sau compatibilă cu cea a metalului de bază (pentru înveliș, flux), în vederea realizării echilibrului chimic de solubilitate totală a elementelor de aliere, atît în stare topită cît și în starea cristalizată;

— să înlesnească realizarea de cordoane de sudură cu proprietăți mecanice apropiate de cele ale metalului de bază, în primul rînd, sporirea tenacității;

— să dea structuri cît mai omogene după solidificare, cu granulație normală și fără constituenți fragili;

— să aibă punctul de topire mai scăzut decît a metalului de bază, astfel că să participe activ pe toată durata procesului metalurgic;

— cordonul de sudură să corespundă condițiilor în care lucrează materialul de bază (mediu coroziv, temperatură, presiune, solicitări statice, dinamice, vibrații etc.).

Gazele protectoare și electrozii din cărbune sau metale nefuzibile nu sînt considerate elemente de adaos.

În figura 7.54 este prezentat un mod de clasificare a principalelor materiale de adaos utilizate la sudarea cu arc.

7.4.2. ELECTROZII FUZIBILI

Sîrmele de sudură, cu dimensiuni și calități standardizate livrate ca vergele sau colaci, sînt materiale de adaos pentru sudarea electrică cu arc deschis, în medii protectoare, sub strat de flux sau în baie de zgură.

În tabelul 7.8 sînt prezentate domeniile de utilizare ale principalelor sîrme standardizate în România.

Alegerea sîrmei de sudare impune o deosebită competență privind atît compoziția chimică inițială a acesteia și a materialului de bază, cît și modificările ulterioare ale compoziției sîrmei apărute în procesul

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.8

Domenii de utilizare a sîrmelor pentru sudare (extras din STAS 1126-66)

Marca sîrmei	Domeniul principal de utilizare	Alte utilizări, recomandate în anumite condiții
S 10 S 10 X S 10 MX	Oțeluri ușor sudabile cu % redus de carbon, necalmate și calmate, la majoritatea asamblărilor sudate.	Sudarea prin topire cu flacără de gaz și automată sub strat de flux.
S 10 M S 10 M_1 S 12 M_2	Oțeluri de construcție slab aliate cu Mn sau Mn-Si, ușor sudabile.	Sudarea sub strat de flux silico-manganos.
S 11 M2 S	Oțeluri carbon și slab aliate cu Mn sau Mn-Si, ușor sudabile.	În special la sudarea în CO_2.
S 12 M2 SC S 22 MSC S 22 MoC	Oțeluri slab aliate cu Mn-Si-Cr sau Mo-Cr, cu rezistență la rupere de 70—100 daN/mm^2	Sudarea în mediu de gaz inert (argon) sau sub strat de flux bazic.
S 12 Mo S 12 MoC S 10 M2 S MoC	Oțeluri termorezistente pentru țevi și cazane de abur supraîncălzit și cu înaltă presiune	Sudarea în mediu de gaz inert (argon) sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător.
S 12 C2 Mo S 12 C5 Mo	Oțeluri de cazane, rezistente la hidrogen sub presiune.	În unele cazuri și sudarea prin topire în flacără de gaz.
S 08 N 3	Oțel similar, aliat cu Ni	
S 08 C 14 S 12 C 17 T S 15 C 25 T	Oțeluri feritice și ferito-perlitice, înalt aliate cu Cr.	Sudarea în mediu de argon în hidrogen atomic sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător, pentru menținerea în limitele prescrise a compoziției chimice și a proprietăților mecanice.
S 04 C 19 N9 S 06 C 19 N9	Oțeluri înalt aliate cu Cr și Ni, de aceeași compoziție sau similară.	
S 08 C19 N9 T S 10 C19 N10 Nb S 06 C 19 N11 Mo2 S 06 C19 N11 Mo2 Nb S 08 C19 N19 Mo2 T	Oțeluri înalt aliate cu Cr și Ni, de aceeași compoziție sau similară, cu conținut de elemente stabilizatoare, pentru evitarea coroziunii intercristaline și a fisurilor.	Sudarea în mediu de argon, în hidrogen atomic sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător, pentru menținerea în limitele prescrise a compoziției chimice și proprietăților mecanice.
S 12 N25 C16 Mo6 S 32 N35 C15 W3 Nb3T S 09 C25 N13	Oțeluri înalt aliate cu Ni și Cr, de aceeași compoziție sau similară.	
S 10 N 50	Oțeluri înalt aliate cu Ni.	

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.9

Modificări ale elementelor de aliere după sudare

Stadiul în care s-a făcut analiza	Elemente de aliere (%)					
	C	Mn	Si	N_2	O_2	H_2
Sîrmă — înainte de sudare	0,13	0,66	0,07	0,005	0,021	$9 \cdot 10^{-5}$
Metal — după sudare depus cu flacără	0,10	0,49	0,02	0,017	0,037	$6 \cdot 10^{-4}$
Metal — după sudare depus cu arc	0,03	0,20	0,02	0,140	0,210	$2 \cdot 10^{-4}$

TABELUL 7.10

Materiale componente ale învelișului electrozilor

Denumirea	Funcțiunea, rolul
Carbură de calciu (cretă, marmură, calcită); Bioxid de titan (rutil, ilmenit); Carbonat de potasiu (potasă, cenușă); Oxizi și săruri ale metalelor alcalino-pămîntoase.	Ionizanți
Minereuri de titan, mangan și fier (rutil, ilmenit, rodomit, hematită, magnetită etc.); Silice și silicați naturali (cuarț, feldspat, mică, caolin etc.); Carbonați naturali (calcită, dolomită, magnezită).	Zgurifianți
Feroaliaje (feromangan, ferosiliciu, ferotitan, ferocrom), aluminiu, grafit.	Dezoxidanți
Feroaliaje și oxizi de metale.	Componenți de aliere
Săruri și oxizi ai metalelor alcalino-pămîntoase, bioxid de titan, fluorină etc.	Feldifianți
Substanțe organice: amidon, dextrină, celuloză, rumeguș etc. Substanțe minerale: carbonați de calciu, magneziu, bariu etc.	Gazeifianți
Silicați lichizi de sodiu și potasiu, dextrină etc.	Lianți
Bentonită, dextrină, amidon, ciment etc.	Plastifianți
Pulbere de fier, pulbere de nichel etc.	Componenți de adaos.

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.11

Dimensiuni ale electrozilor (extras STAS 1125-64)

Diametrul d, mm	Lungimea L, mm	
	Oţel calmat, oţel slab aliat	Oţel aliat
1,6	200; 250	200; 250
2,0	200; 250; 450	200; 250; 450
2,5	250; 350; 450	200; 350; 450
3,15; 3,25; 4,00	350; 450	350; 450
3,0; 6,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5	450	350; 450

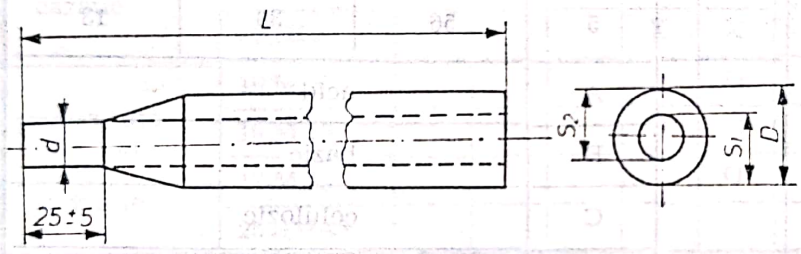


Fig. 7.55. Forma geometrică şi dimensiunile electrodului cu înveliş.

metalurgic la sudare. În tabelul 7.9 sînt prezentate în procente modificările unor elemente de aliere într-o sîrmă de adaos, în cazul sudării prin topire cu flacără de gaz sau cu arc electric.

De regulă pentru sudarea normală cu arc electric, se folosesc *electrozi înveliţi*. În tabelul 7.10 sînt prezentate principalele materiale uzuale din compoziţia învelişului.

Dimensiunile electrozilor înveliţi sînt prezentate în figura 7.55 şi tabelul 7.11. Celelalte condiţii tehnice sînt prevăzute în STAS 1125-64.

Pentru utilizarea corectă a tipurilor de electrozi înveliţi existenţi în diverse ţări, s-a adoptat sistemul de simbolizare internaţional ISO, pe baza căruia sînt echivalaţi electrozii de aceeaşi destinaţie. În simbolizarea completă, care cuprinde patru grupe de sîrme (tab. 7.12), sînt incluse informaţii asupra caracteristicilor vergelei, învelişului şi tehnologiei de sudare.

În tabelul 7.13 sînt prezentate indicaţii orientative privind alegerea electrozilor de fabricaţie românească, utilizaţi la sudarea oţelurilor nealiate şi slab aliate pentru construcţii.

7.4.3. FLUXURILE PENTRU SUDAREA ELECTRICĂ

Fluxurile sînt amestecuri de minerale, sub formă de granule, avînd rolul de protecţie a băii de metal topit, participare la formarea sudurii prin elementele de aliere şi dezoxidante, eliminare a gazelor formate

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.12

Grupe de simbolizare a electrozilor după ISO

Grupa semnelor din simbol	Poziția semnelor în simbol	Semnul	Semnificația		
I	1	E	Electrod pentru sudare electrică manuală cu arc.		
II Caracteristici mecanice ale metalului depus	2, 3 și 4		2) rezistență, daN/mm²	3) alungire, %	4) reziliență, daN·m/cm²
		1	40	14	5
		2	44	18	7
		3	48	22	9
		4	52	26	11
		5	56	30	13
III Felul învelișului		A	acid		
		B	bazic		
		C	celulozic		
		O	oxidant		
		T	titanic		
		R	rutilic		
IV Poziția de sudare și felul curentului	6	1	toate pozițiile		
		2	toate pozițiile, exclusiv vertical descendent		
		3	orizontal în jgheab și orizontal la colț		
		4	orizontal în jgheab		
	7	0	numai curent continuu		
		1, 4, 7	bun la orice pol	Curent continuu și curent alternativ cu tensiune minimă de mers în gol 50 V, 70 V, respectiv 90 V	
		2, 5, 8	preferabil polul minus		
		3, 6, 9	preferabil polul plus		

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 7.13

Indicații generale pentru alegerea electrozilor de fabricație românească

Destinația oțelului de sudat / Tipul electrodului		EL 38A	EL 42A	EL 38T	EL 44T	EL 46T	EL 44C	EL 42B	EL 46B	EL 50B	EL 55B
pentru construcții	OL 38	O	O	O	O	O	O	O	O		
	OL 42	X	O	X	O	O	O	O	O		
	OL 50							X	X	X	X
	OL 60							X	X	X	X
pentru țevi	OLT 32			O	O	O	O	O	O		
	OLT 35			O	O	O	O	O	O		
	OLT 45				O	O	O	O	O		
	OLT 55							X	X	X	X
pentru cazane	OL K_1		O		O	O		O	O		
	OL K_2		O		O	O		O	O		
	OL K_3				X	X		O	O		
pentru oțeluri slab aliate sudabile	10 M 16				O	O		O	O		
	19 M 10				O	O		O	O		
	17 M 13					O		O	O	O	O
	25 SM 14							X	X	X	X

Legendă:
X — sudare cu măsuri speciale;
O — sudare în condiții tehnologice obișnuite.

în procesul de sudare, diminuare a vitezei de răcire la cristalizare și, în cazul sudării cu arc, de stabilizare a acestuia. Pot fi *fluxuri topite* — prin topirea împreună a elementelor componente sau *fluxuri ceramice* — prin amestecul mecanic al acestora.

Caracteristica chimică a fluxurilor pentru sudare este dată de capacitatea bazică B:

$$B=\frac{CaO+MgO+MnO}{SiO_2+FeO+TiO_3} \qquad (7.16)$$

și pot fi acide cînd $B<1$, neutre la $B=1$ și bazice pentru $B>1$. În fluxurile acide compușii predominanți sînt SiO_2 și MnO, iar în cele bazice CO_3Ca și CaF_2. Pentru completare, dependent de rețeta stabilită, se mai introduc FeO, Fe_2O_3, Al_2O_3, MnO, TiO_2, feroaliaje ș.a.

7.5. SUDAREA PRIN PRESIUNE

Sudarea prin presiune constă în aducerea în stare plastică sau topită și realizarea interacțiunii atomice în zona îmbinării, sub acțiunea unei forțe exterioare.

Scanned with OKEN Scanner

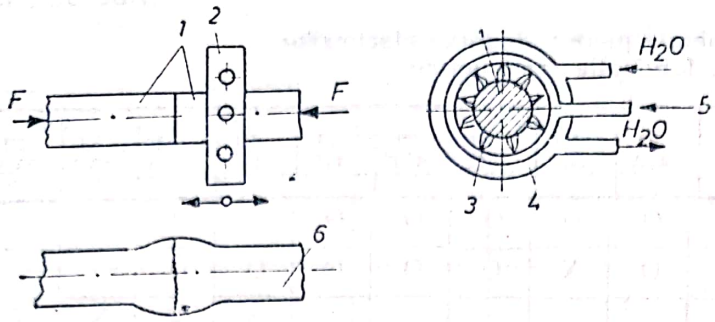


Fig. 7.56. Sudarea prin presiune cu încălzire la flacără.

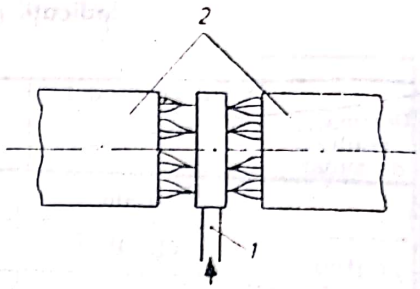


Fig. 7.57. Încălzirea frontală a pieselor de grosimi mari.

7.5.1. SUDAREA PRIN PRESIUNE CU ÎNCĂLZIRE LA FLACĂRĂ

Capetele piesei sînt încălzite simultan cu arzătorul inelar (fig. 7.56) la temperatura cu plasticitate maximă (ex. la oțel 1 473 . . . 1 523 K). Arzătorul execută o mișcare rectilinie alternativă paralelă cu axa piesei, pentru evitarea supraîncălzirii sau topirii straturilor de suprafață. Sub acțiunea forței statice, cele două piese sînt presate axial (200—400 daN/cm²) și deformate (refulare) eliminîndu-se pelicula de oxizi în zona de contact și realizîndu-se sudura însoțită de o bavură. Pentru piese de secțiuni mari, se folosește un arzător frontal cu încălzire uniformă a celor două suprafețe (fig. 7.57).

Procedeul se aplică la sudarea cap la cap în stare plastică la cald pentru: șine de cale ferată, țevi de diametre mari (300 . . . 600 mm) etc.

7.5.2. SUDAREA ELECTRICĂ PRIN REZISTENȚĂ

Procedeul tehnologic constă în încălzirea locală a pieselor în contact, produsă la trecerea curentului electric printr-un circuit de conductori (legea Joule-Lentz), conform relației (7.15).

$$Q=0{,}24\int_0^t I^2 R\,dt, \tag{7.17}$$

în care: Q este cantitatea de energie calorică [J]; R — rezistența ohmică a circuitului [Ω]; I — intensitatea curentului în secundarul transformatorului [A]; t — timpul [s].

Relația este valabilă cînd, în timpul încălzirii, intensitatea curentului și rezistența circuitului nu se mențin constante (cazul sudării prin rezistență). Din figura 7.58 rezultă că la sudarea în puncte, rezistența circuitului de sudură se compune din:

$$\Sigma R=n\cdot R_m+(n-1)R_c+n_1R_e, \tag{7.18}$$

în care: R_m este rezistența materialului de bază; R_c — rezistența punctului de contact între elementele de îmbinare; R_e — rezistența punctului de contact între electrozi și metal; n — numărul de table; n_1 — numărul de electrozi.

Scanned with OKEN Scanner

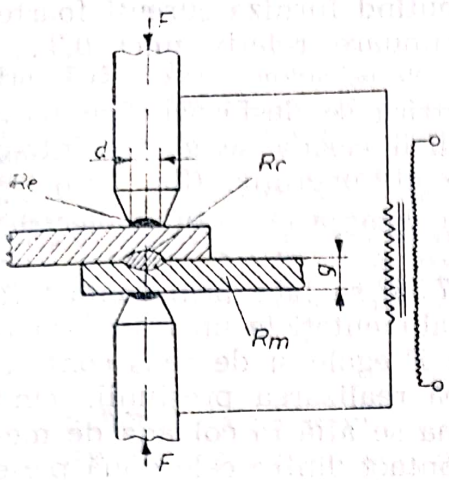


Fig. 7.58. Schema sudării în puncte.

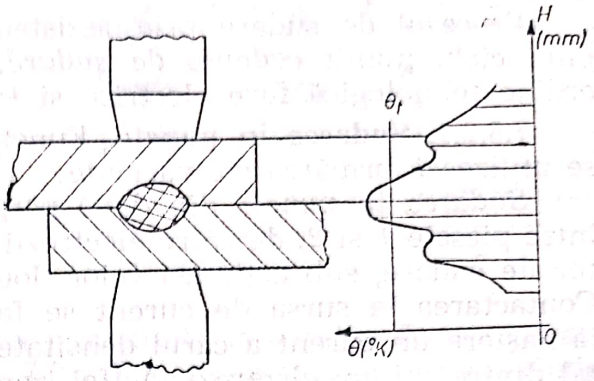


Fig. 7.59. Variația cîmpului termic:
θ – temperatura; θ_t – temperatura de topire.

Așadar, cantitatea de căldură degajată este dată de relația:

$$Q=0{,}24\int_0^t [n\cdot R_m+(n-1)R_c+n_1R_e]\cdot I^2\mathrm{d}t \quad [\mathrm{J}], \tag{7.19}$$

unde:

$$R_m=\frac{n\cdot s\cdot \rho}{0{,}25\pi d^2}\ [\Omega], \tag{7.20}$$

în care: $n\cdot s$ este lungimea drumului parcurs de curent; d — diametrul la vîrf al electrozilor; s — grosimea tablei [mm]; ρ — rezistivitatea materialului.

Pentru a concentra aproape întreaga energie calorică în punctul de contact între elementele de asamblat, rezistența R_c în acest punct trebuie să fie cît mai mare. Rezistența punctului de contact între electrozi și metal R_e trebuie să fie minimă pentru a favoriza trecerea curentului, fapt pentru care se impune curățirea punctelor de contact ale celor doi electrozi.

În figura 7.59 este reprezentată variația cîmpului termic la contactul între două table din oțel *1*, apropiate de forța F între electrozii *2* parcurși de curentul I, unde încălzirea maximă se obține în punctul de contact între piesele de sudat.

Sursa de alimentare cu energie electrică este, de regulă, transformatorul de construcție specială, cu

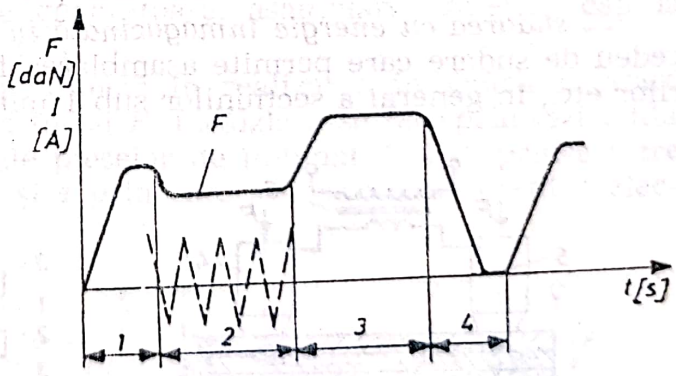


Fig. 7.60. Diagrama cadenței de lucru:
1 – faza de amorsare, timpul între pornirea spre piesă a electrodului mobil cu creșterea bruscă a presiunii la 1 ... 5 daN/mm²; 2 – faza de sudare, corespunde trecerii curentului, presiunea rămîne constantă sau scade funcție de aliaj; 3 – faza de forjare (deformarea plastică), are loc după întreruperea curentului, cu creșterea presiunii; 4 – faza de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

puteri cuprinse în limitele 0,5 ... 500 kVA, putînd furniza curenți foarte mari de 5 000 ... 30 000 A, la tensiuni secundare relativ mici 0,3 ... 25 V.

Procesul de sudare prin rezistență electrică se desfășoară pe baza unui ciclu numit *cadență de sudare*, în cadrul căruia se găsesc într-o ordine tehnologică faze electrice și mecanice ale operației (fig. 7.60).

7.5.2.1. **Sudarea în puncte.** Funcție de realizarea circuitului electric, se utilizează următoarele variante:

Sudarea în puncte din două părți (fig. 7.58) se face prin contactare între piesele *1* și *2*, de către electrozii *3* și *4* alimentați la un transformator de sudare, sub acțiunea celor două forțe *F* egale și de sens contrar. Contactarea la sursa de curent se face după realizarea presiunii, cînd ia naștere un curent a cărui densitate maximă se află în coloana de metal dintre cei doi electrozi. Astfel, zona de contact dintre cele două piese se va încălzi. La creșterea temperaturii, rezistența de contact se micșorează, în schimb sporește rezistivitatea pieselor astfel că sursa termică se extinde în jurul rezistenței de contact creînd un nucleu sudat format din materialele celor două elemente asamblate. Nucleul va spori în volum dacă temperatura se menține, însă nu peste grosimea pieselor, întrucît apare străpungerea. După întreruperea curentului și apoi a forței de presare, prin răcire în atmosferă liberă, se obține punctul sudat.

Sudarea în puncte dintr-o singură parte (fig. 7.61) se folosește la realizarea în serie a două puncte de sudură. O placă din cupru, avînd rolul de electrod comun intermediar, permite închiderea unei părți importante a curentului prin punctele de contact și realizarea sudurii.

Procedeul se aplică la asamblarea tablelor și profilelor din oțel și metale neferoase (carcase, învelitoare, ansambluri de configurație complexă etc.), de aceeași grosime sau grosimi diferite cînd raportul acestora $S_{max}/S_{min} \leqslant 3$. Dacă se sudează trei elemente, cel mai gros este amplasat la mijloc.

Sudarea prin rezistență în puncte poate fi aplicată în următoarele două variante:

— *sudarea în relief* (fig. 7.62) a mai multor puncte simultan; densitatea maximă de curent se realizează în dreptul proeminentelor de pe una din piesele de asamblat *1* și *2*; forța de presare și contactul electric la sursa de alimentare *5* se realizează prin cei doi electrozi plani *3*;

— *sudarea cu energie înmagazinată în condensator* este singurul procedeu de sudare care permite asamblarea foliilor subțiri, sîrmelor, știfturilor etc., în general a secțiunilor sub 1 mm².

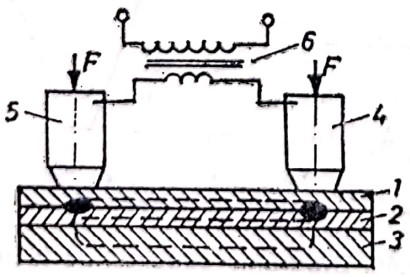


Fig. 7.61. Schema sudării în puncte dintr-o singură parte: 1, 2 — piese de sudat; 3 — placă ajutătoare din Cu; 4, 5 — electrozi; 6 — transformator.

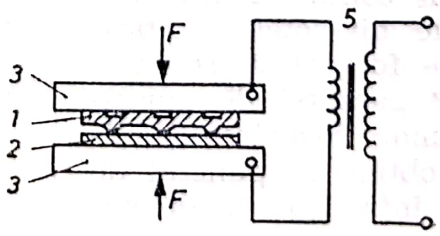


Fig. 7.62. Schema sudării în puncte în relief.

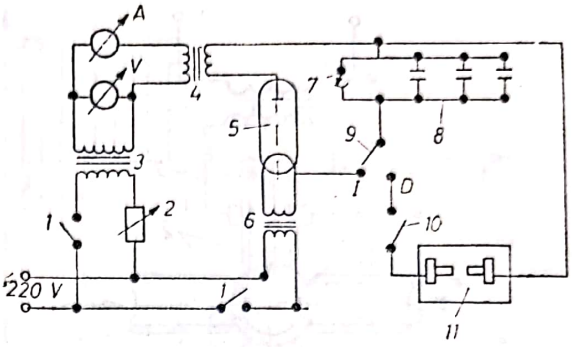


Fig. 7.63. Schema instalației de sudare cu energie înmagazinată în condensator:
1 — întreruptor la rețeaua de alimentare; 2 — rezistență variabilă; 3 — transformator de joasă tensiune (220/0 . . . 75 V); 4 — transformator de înaltă tensiune (0 . . . 75/7 000 V); 5 — diodă (lampă) redresoare; 6 — transformator coborîtor de tensiune pentru alimentarea catodului (220/1–12 V); 7 — voltmetru electrostatic; 8 — baterie de condensatori de 40–500 μ F la 5 kV; 9 — punte de legătură; 10 — întrerupător de sudură; 11 — dispozitiv de sudare.

Schema de principiu a instalației alimentată la o rețea de curent alternativ este reprezentată în figura 7.63. Funcționarea acesteia cuprinde două etape: *încărcarea* bateriei de condensatori *8* cînd puntea *9* se găsește în poziția *I* și *descărcarea* energiei înmagazinată (în poziția *D*).

7.5.2.2. **Sudarea în linie.** Sudura se formează dintr-o succesiune de puncte, parțial suprapuse, rezultînd o cusătură etanșă (fig. 7.64). Se realizează cu două role, dintre care una este motrice, alimentată la o sursă de curent.

Variante ale sudării în linie:

— *sudarea cap la cap cu role* (fig. 7.65) se aplică la asamblarea țevilor pe generatoare; modelată din bandă de oțel, țeava este presată și antrenată de rolele *2;* perpendicular pe direcția de acționare a forței *F* se află rola de contact *3* și rola de sprijin *5;* se sudează, fără adaos de material, țevi cu diametrul de 10 . . . 400 mm și grosime de 0,5 . . . 14 mm;

— sudarea în linie cu metal de adaos (fig. 7.66): tablele *1* și *2* se așază cap la cap între două benzi de material *3* strînse cu forța F_1 de rolele *4*. Lateral, prin role ajutătoare, tablele sînt presate cu o forță $F_2 > F_1$. Căldura, generată în zona de contact, duce piesele *1, 2* și *3* în stare plastică, concomitent cu apariția unei noi forțe de presare F_3 datorită dilatării.

Sudarea în linie are un domeniu larg de utilizare: oțeluri cu carbon redus (0,08 . . . 0,15% C), oțeluri inoxidabile, alame și bronzuri cu siliciu.

Se aplică la îmbinări de rezistență și etanșeitate: rezervoare de automobil și avion, țevi sudate pe generatoare, asamblarea estetică cap la cap a tablelor, ambalaje etanșe etc.

7.5.2.3. **Sudarea cap la cap.** Constă în realizarea îmbinării în stare plastică sau topită, sub acțiunea forței *F*. Încălzirea se face prin rezistența de contact a părților frontale ale pieselor de îmbinat *1* și *2*, prinse între două dispozitive de strîngere *3* și *4* prin care se transmite curentul elec-

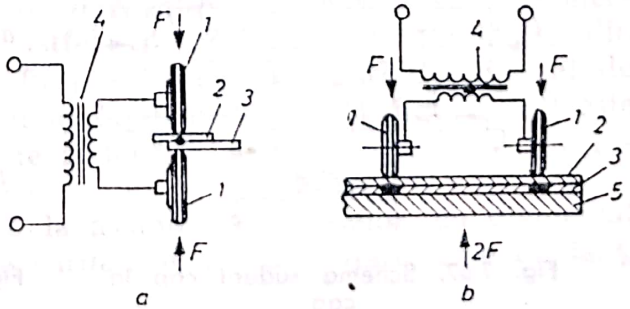


Fig. 7.64. Schema sudării în linie:
a — sudarea din două părți; b — sudarea dintr-o parte (două cusături); 1 — role de contact; 2, 3 — piese de sudat; 4 — transformator de sudare; 5 — placă din cupru.

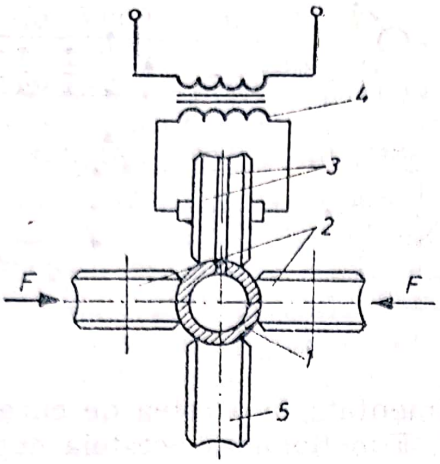


Fig. 7.65. Schema sudării cap la cap, cu role.

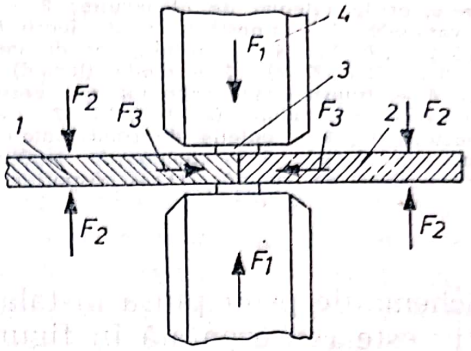


Fig. 7.66. Schema sudării prin rezistență cu material de adaos.

tric de la secundarul transformatorului de sudare 5. Întreg ansamblul este montat pe șasiul 6 (fig. 7.67).

Sudarea cap la cap în stare plastică

— faza de pregătire și încălzire; piesele sînt prelucrate și curățite chimic în zona asamblării și aduse în contact la presiuni mici (p_i= =1 ... 1,5 daN/mm²); lungimea liberă $2l$ (fig. 7.68) se ia funcție de diametrul piesei

$$d=kd, \tag{7.21}$$

unde: k este coeficient de proporționalitate dependent de natura materialului; k=0,5 ... 1 oțeluri cu carbon produs; k=1,5 ... 2 aluminiu și alame; k=2 ... 2,5 cupru; pentru oțel, de exemplu, încălzirea se face la 1 200 ... 1 500°C.

— faza de refulare are loc la p_r=1,5 ... 3 daN/mm² pentru regim moale (densități mici de curent și durate lungi) și p_r=3,5 ... 5 daN/mm² pentru regim dur (densități mari de curent și durate scurte), prin deplasarea uneia din fălcile de prindere. La o anumită deformare plastică se întrerupe curentul și forța de acționare, pe bază de contactoare limitatoare de cursă. După răcire, îmbinarea prezintă o îngroșare și o scurtare de refulare s.

Sudarea cap la cap prin topire se face cu încălzirea pînă la topire a unei pelicule de pe fețele frontale ale pieselor și expulzarea acesteia

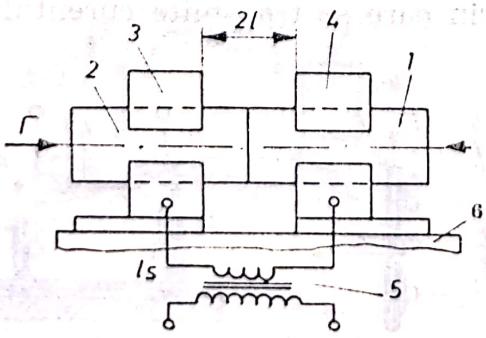


Fig. 7.67. Schema sudării cap la cap.

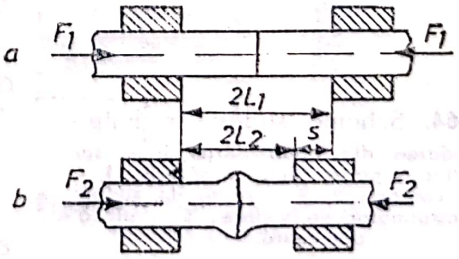


Fig. 7.68. Sudarea în stare solidă.

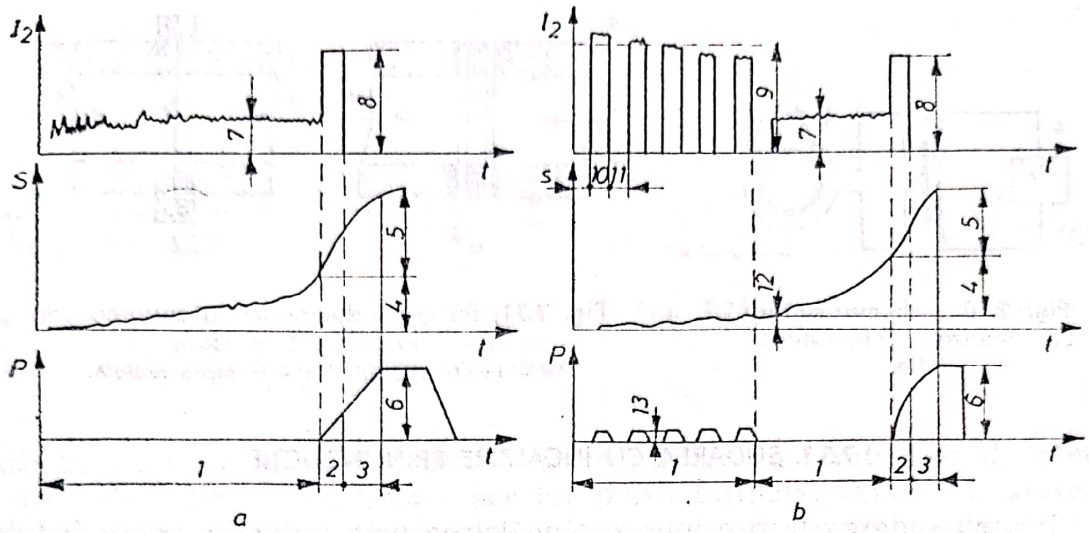


Fig. 7.69. Variația curentului (I_s), a scurtării (S) și a presiunii (p) la sudarea cap la cap prin topire:

a — topirea directă (prin scînteie); b — topirea cu preîncălzire; 1 — preîncălzirea; 2 — refularea sub curent; 3 — refularea fără curent; 4 — scurtarea la topire; 5 — scurtarea la refulare; 6 — presiunea la refulare; 7 — curentul la topire; 8 — curentul la refulare; 9 — curentul la preîncălzire; 10 — timp de sarcină; 11 — timp de repaus; 12 — scurtare la preîncălzire; 13 — presiunea la preîncălzire.

din îmbinare, împreună cu oxizii și celelalte impurități, în timpul presării cu viteză mare.

Faza topirii în capete se poate obține direct sau cu preîncălzire:

T o p i r e a d i r e c t ă (sudarea prin scîntei) se obține la apropierea capetelor la viteză și grosimi reduse. Contactele parțiale între fețele frontale au o rezistență electrică mare și se încălzesc rapid (în circa 0,01 s) formînd punți lichide; acestea, datorită forțelor electromagnetice și tensiunii superficiale, se deplasează spre periferia interstițiului. În plus, configurația punților de metal lichid sporește densitatea de curent în zona centrală și, în urma unui mecanism asemănător celui de transfer de metal în arc, vaporii de metal creează suprapresiuni care produc dezagregarea punților și eliminarea parțială a metalului sub formă de scîntei.

T o p i r e a c u p r e î n c ă l z i r e este asemănătoare cu topirea directă, cu deosebirea că într-o fază precedentă se încălzește prin contacte intermitente în urma unor impulsuri de presiune urmate de întreruperea contactelor. La atingerea temperaturii de preîncălzire (de ex., pentru oțel 1 050 ... 1 350 K) cele două capete se apropie lent cu presiune foarte mică și se continuă procesul ca la topirea directă.

R e f u l a r e a urmează fazei de topire și constă în accelerarea bruscă a uneia din piese. Presiunea de refulare este ceva mai mare la sudarea cu topire directă (pentru oțel 8 ... 14 daN/mm²) decît la cea cu preîncălzire (pentru oțel 4 ... 6 daN/mm². Curentul se deconectează după începerea refulării astfel că aproximativ jumătate din scurtarea S se face sub curent. În acest mod nu apare fenomenul de pătrundere a aerului în interstițiu înaintea refulării. În figura 7.69 este reprezentată variația curentului de sudare I_s, a scurtării S și a presiunii p funcție de durata procesului t.

Sudarea cap la cap se aplică la asamblarea pieselor cu diametrul echivalent sub 15 ... 20 mm: axe cardanice, căi de rulare, zale de lanț, inele, benzi etc.

Scanned with OKEN Scanner

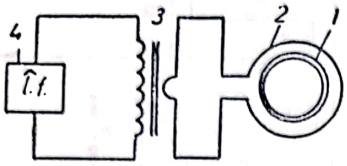


Fig. 7.70. Schema sudării cu încălzire prin inducție.

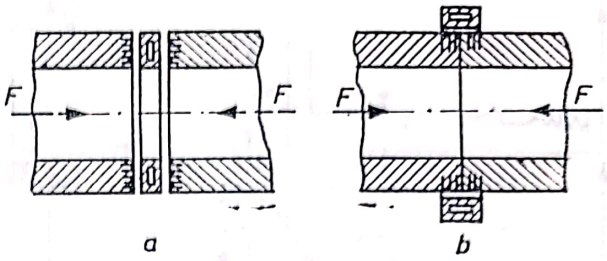


Fig. 7.71. Poziția inductorului la sudarea cap la cap a țevilor:
a — încălzire axială; b — încălzire radială.

7.5.3. SUDAREA CU ÎNCĂLZIRE PRIN INDUCȚIE

Pentru sudarea la presiune cu încălzirea prin inducție, poate fi folosită o sursă de curent alternativ de frecvență corespunzătoare și un inductor adecvat configurației zonei îmbinării. Încălzirea inductivă poate fi estimată prin grosimea stratului de suprafață al metalului în care se degajă circa 90% din energia calorică:

$$\delta = k\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \qquad (7.22)$$

unde: δ este adîncimea de pătrundere a încălzirii; k — factor de proporționalitate; ρ — rezistivitatea; μ — permeabilitatea magnetică; f — frecvența.

În figura 7.70 este reprezentată schema instalației pentru sudare cu încălzire prin inducție, compusă din: un echipament de înaltă frecvență *4*, care prin circuitul de încărcare, alimentează primarul unui transformator *3;* secundarul alimentează inductorul *2* — o spiră răcită cu apă, care încălzește piesa de sudat *1.*

Se aplică la sudarea țevilor din bandă pe generatoare sau transversală a țevilor cu pereți groși — maximum 15 mm (fig. 7.71, *a*); la cele cu pereți subțiri (fig. 7.71, *b*) încălzirea se face odată cu presarea. Frecvența poate fi 2 . . . 500 kHz. Datorită costului ridicat, procedeul este rentabil pentru oțeluri austenitice, aluminiu etc.

7.5.4. SUDAREA CU ÎNCĂLZIRE PRIN FRECARE

Constă în mișcarea relativă între două piese, supuse la o puternică compresiune (fig. 7.72).

Procesul de sudare se bazează pe transformarea energiei mecanice în energie calorică, datorită forțelor de frecare care iau naștere în suprafața de contact. Puterea termică depinde de mărimea presiunii, de coeficientul de frecare și de viteza relativă. Datorită faptului că valoarea coeficientului de frecare variază cu temperatura, puterea sursei termice va fi diminuată în timp (fig. 7.73). Astfel, în timpul t_1, după o creștere bruscă a temperaturii, are loc o scădere a puterii q, cauzată de pelicula de grăsimi de pe suprafața de contact. La temperatura de circa 550 . . . 560 K acestea ard, iar coeficientul de frecare crește pînă cînd puterea sursei atinge, la timpul t_2, valoarea q_{max}. Aceasta corespunde unei

Scanned with OKEN Scanner

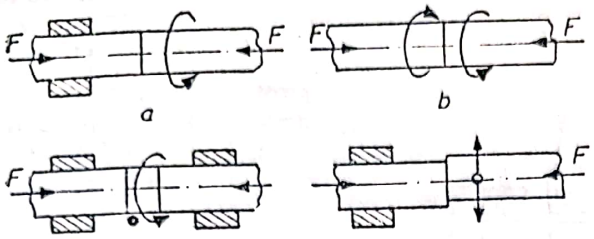


Fig. 7.72. Variante ale sudării prin frecare:
a — rotirea unei piese; b — rotirea ambelor piese; c — cu piesă intermediară în rotație; d — deplasarea radială a unei piese.

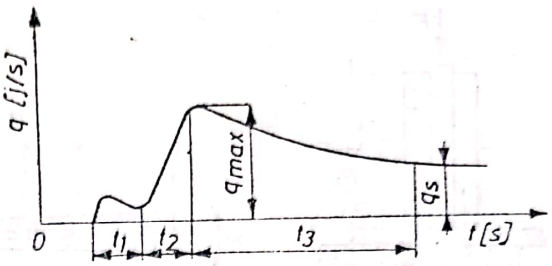


Fig. 7.73. Variația puterii termice la sudare prin frecare.

faze primare de sudare locală în stare plastică a straturilor de metal, urmată de ruperea imediată a acestor punți formate. Odată cu creșterea temperaturii numărul punților de legătură crește, însă rezistența acestora la rupere prin forfecare scade sensibil. Puterea termică începe să scadă cînd în suprafața de frecare apare o peliculă alunecătoare de metal lichid, apoi tinde asimptotic către o valoare staționară q_s, într-un timp t_3. În această fază, se anulează mișcarea relativă între cele două piese și se lasă să se răcească sub presiune. Se obține o sudură similară, ca formă și structură, cu sudarea cap la cap prin topire.

Domeniul de utilizare: majoritatea metalelor și aliajelor feroase sau neferoase, de compoziție identică sau diferită; piese cu secțiuni circulare sau neregulate (capul hexagonal cu tija șurubului, partea utilă cu corpul sculei aşchietoare etc.).

7.5.5. SUDAREA LA RECE

Sudarea prin deformare plastică la rece, se bazează pe capacitatea metalelor de a interacționa în stare atomică și moleculară, atunci cînd sînt supuse la o puternică presiune.

Sudarea cap la cap (fig. 7.74) se obține cu dispozitive speciale la presiuni foarte mari (la aluminiu . . . 100 daN/mm², la cupru 100 . . . 120 daN/mm²), cu realizarea unui coroiaj (grad de deformare) ridicat 60 . . . 90%. Materialul din zona de contact curge plastic și este refulat radial. Cu muchia tăietoare circulară *4* este decupată bavura, rămînînd

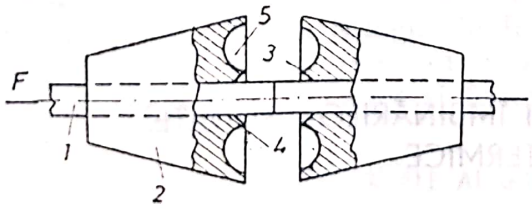


Fig. 7.74. Sudarea la rece, cap la cap:
1 — piese de sudat; 2 — fălci de prindere; 3 — cavitate de îngroșare; 4 — tăiș circular; 5 — canal de bavură.

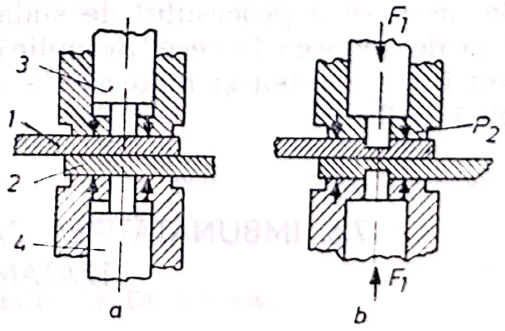


Fig. 7.75. Sudarea la rece, în puncte:
a — înainte de presare; b — după presare; 1, 2 — piese de sudat; 3 — dispozitiv de presare ajutător; 4 — poanson.

Scanned with OKEN Scanner

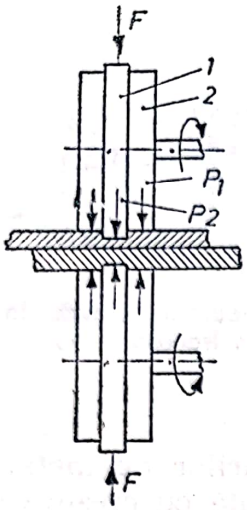


Fig. 7.76. Sudarea la rece, în linie:
p_1 – presiune ajutătoare; p_2 – presiune de sudare.

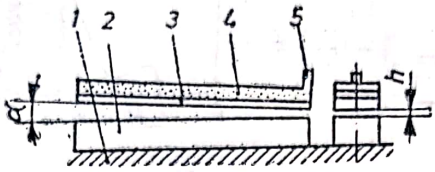


Fig. 7.77. Sudarea la rece prin explozie:
1 – placă de bază; 2 – piesa fixă de sudat; 3 – piesa mobilă de sudat; 4 – strat exploziv; 5 – detonator.

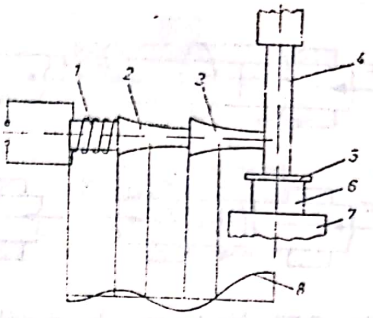


Fig. 7.78. Sudarea la rece cu ultrasunete:
1 – transductor magnetostructiv; 2, 3 – concentrator; 4 – sonotrod; 5, 6 – piese de sudat; 7 – placă de bază; 8 – curba de amplificare a vibrației.

o îmbinare de secțiune supradimensionată delimitată de canalul circular *3*. Se utilizează la îmbinarea barelor, țevilor, benzilor, profilelor și sîrmelor, putînd fi realizate și suduri între metale diferite.

Sudarea prin suprapunere poate fi realizată în puncte (fig. 7.75) sau în linie (fig. 7.76), prin acțiunea poansoanelor *4* sau rolelor *1* la presiunea p_2 de valori mari; încheierea procesului de sudare, limitarea pătrunderii și evitarea perforării se face la presiune redusă p_1. Se aplică pieselor cu grosimi de 0,2 ... 1,5 mm, din metale și aliaje cu plasticitate bună, în special din Al.

Sudarea prin explozie (fig. 7.77) se obține la viteze mari de deformare, prin presarea violentă a suprafețelor a două piese. Pe piesa mobilă, poziționată la distanța minimă h=2 mm și unghiul de înclinare=7 ... 14°, este depus stratul exploziv. Presiunea dezvoltată (10^4 ... ... 10^5 daN/cm^2) provoacă izbirea cu viteză mare a plăcilor, avînd ca urmare o deformare plastică rapidă însoțită de deplasări tangențiale ale straturilor de suprafață și apariția forțelor de legătură. Se aplică metalelor și aliajelor cu sudabilitate redusă.

Sudarea prin presiune la rece și vibrare cu ultrasunete (fig. 7.78) se realizează prin presiunea exercitată asupra unei piese de către o sculă *4* care are rolul și de *sonotrod,* legat la concentratorul unui traductor magnetostrictiv generator de unde ultrasonore. Efectul vibrațiilor, suprapus peste presiunea creată între suprafețele celor două piese, asigură energia de activare a procesului de sudare, realizabil la presiuni mult mai mici față de sudarea la rece. Se aplică metalelor feroase și neferoase între ele sau între acestea și materialele nemetalice (ex. ceramice) pentru grosimi pînă la 3 mm.

7.6. ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII ÎMBINĂRILOR SUDATE. TRATAMENTE TERMICE

În timpul sudării, zona influențată termic este supusă unor variații bruște de temperatură care determină, în cele mai multe cazuri, diminuări ale proprietăților mecanice, chimice, tehnologice etc. Efectul acestui

proces, considerat ca un tratament termic nedorit poate fi diminuat prin:

— respectarea, menținerea sau, de la caz la caz, modificarea parametrilor regimului de lucru;

— respectarea prescripțiilor tehnologice privind regimul termic, îndeosebi durata de menținere la temperatură și viteza de răcire;

— combinarea procesului de sudare cu un tratament termic, pentru realizarea structurii dorite și evitarea transformărilor ireversibile (ruperi în structură).

Față de succesiunea în timp a ciclurilor termice de sudare, se folosesc următoarele tratamente:

Tratamentele anterioare mai frecvente sînt:

— detensionarea pieselor cu variații mari de secțiune, în scopul eliminării tensiunilor remanente căpătate la prelucrările anterioare sudării;

— normalizarea pieselor turnate din oțel carbon sau oțeluri laminate de mare rezistență; se obțin structuri omogene care pot suporta șocul termic al regimului de sudare.

Tratamentele aplicate în timpul sudării sînt cele ale căror cicluri termice se suprapun, uneori parțial, cu cele ale procesului de sudare:

— preîncălzirea la temperatura de 500 ... 650 K, pentru sporirea plasticității cu evitarea fisurării în *ZIT*. Poate fi folosită numai la începutul sudării sau menținută în vederea obținerii unei temperaturi constante a regimului de sudare. Se aplică la sudarea pieselor cu pereți groși și constituenți structurali de mare rigiditate;

— postîncălzirea la temperaturi de 850—950 K, în scopul încetinirii răcirii în domeniul transformării martensitice și eliminării tensiunilor structurale; este însoțită de preîncălzire și se aplică oțelurilor cu călibilitate ridicată.

Tratamentele termice ulterioare sudării au ca scop diminuarea sau anularea tensiunilor remanente și refacerea structurii modificate (căliri cu precipitări de carburi, structuri de supraîncălzire). Se realizează după ciclul tratamentelor termice clasice și pot fi detensionare, normalizare, recoacere, călire, revenire, îmbunătățire etc.

7.7. DEFECTELE ÎMBINĂRILOR SUDATE ȘI METODE DE IDENTIFICARE A ACESTORA

Cu urmare a ciclului termic de încălzire și răcire locală, au loc dilatări și contractări în zona sudării, care generează tensiuni interne importante ce pot determina deformarea pieselor sau chiar apariția ruperilor. Tensiunile și deformațiile apărute în timpul sudării pot fi neglijabile în unele cazuri însă, la piesele de formă complicată și mai ales la cele din oțeluri aliate, prevenirea sau înlăturarea acestora este condiție centrală a prescripțiilor tehnologice și funcționale ale asamblării.

7.7.1. CAUZE ALE APARIȚIEI DEFECTELOR DE SUDARE

La sudarea metalelor, față de prelucrarea acestora prin alte procedee tehnologice, probabilitatea apariției defectelor este mai mare, datorită unor cauze complexe: configurația necorespunzătoare a piesei din punct

Scanned with OKEN Scanner

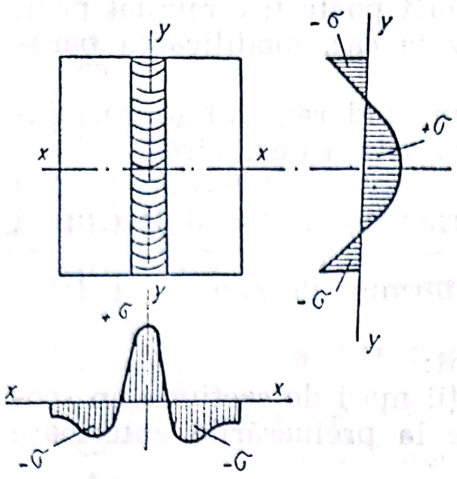


Fig. 7.79. Schema tensiunilor în îmbinarea prin sudură.

de vedere constructiv, pregătirea și preasamblarea defectuoasă a elementelor, sudabilitatea redusă a metalului de bază, alegerea greșită a metalului de adaos, nerespectarea parametrilor regimului de sudare, neglijența sau slaba pregătire profesională a sudorului etc.

7.7.2. TENSIUNI LA SUDARE

Independent de acțiunea solicitărilor exterioare, în cusătură apar eforturi unitare ca urmare a contracției la solidificare și modificărilor în fază solidă.

Fenomenul are ca efect apariția *tensiunilor interne,* care pot fi tensiuni termice datorită diferenței de temperatură în zone învecinate, accentuate odată cu sporirea vitezei de încălzire și răcire și tensiuni remanente cauzate de schimbările de volum în urma modificărilor structurale în zona influențată termic.

Tensiunile care apar într-o cusătură sudată, sînt de întindere în lungul cusăturii și compresiune la capete, iar în secțiune transversală tensiunile maxime apar, de exemplu, în cazul sudării a două plăci încastrate, cînd este împiedicată deformația (fig. 7.79).

7.7.3. DEFORMAȚII, FISURĂRI, RUPERI

Dacă valoarea tensiunilor remanente tinde spre limita de curgere a materialului de bază, are loc o deformare plastică a piesei, iar cînd se ajunge la limita rezistenței la rupere apar fisuri și crăpături în îmbinare.

Deformațiile la sudare pot fi transversale (*a*), longitudinale (*b*), în jurul axei cusăturii (*c*), simultane (*d*) — figura 7.80.

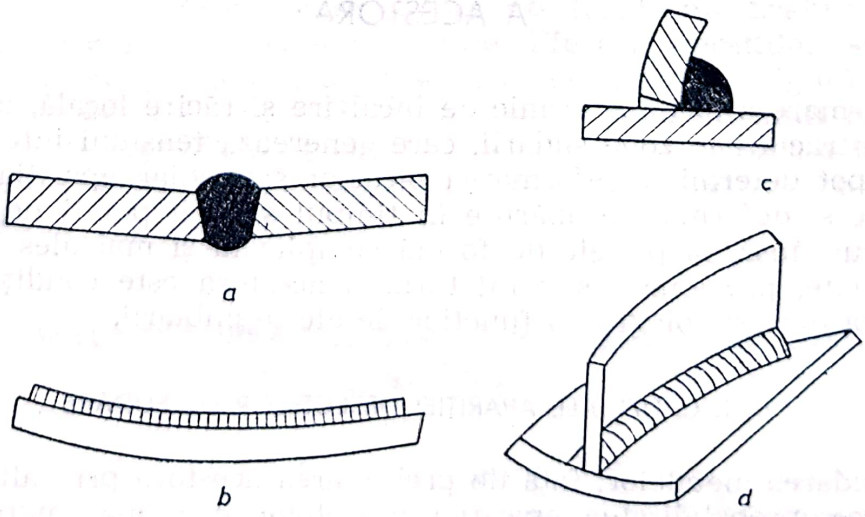


Fig. 7.80. Deformații de sudare.

Scanned with OKEN Scanner

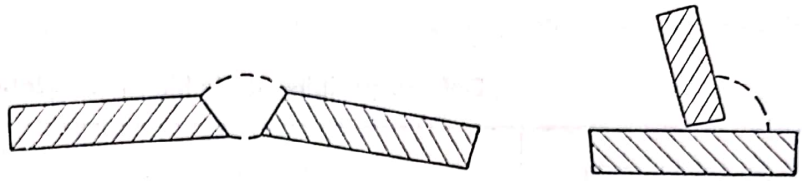


Fig. 7.81. Evitarea deformaţiilor la sudare.

Metodele folosite pentru diminuarea deformaţiilor la sudare, pot fi: aşezarea pieselor în sens opus deformării (fig. 7.81), preîncălzirea şi sudarea la cald, tratamentele termice de detensionare şi recoacere de recristalizare, tratamentele mecanice (de exemplu, ciocănire, se anulează în mare măsură contracţiile şi se omogenizează structura), folosirea ultrasunetelor în timpul sudării pentru îmbunătăţirea structurii în zona de supraîncălzire din *ZIT* şi a celei dendritice din cordon.

Fisurarea poate să apară în cazurile:

— *fisurarea la cald* începe odată cu cristalizarea primară a băii de metal topit; această tendinţă spre ruperea inter şi intracristalină este funcţie de compoziţia chimică a cordonului de sudură; efect negativ au unele elemente de aliere (C, S, P) şi fazele cu temperaturi joase de topire (cementita primară, ledeburita etc.);

— *fisurarea la rece* apare la temperaturi sub 200°C, fiind efectul tensiunilor remanente şi prezenţei hidrogenului în reţea.

7.7.4. CLASIFICAREA DEFECTELOR POSIBILE ÎN ÎMBINĂRILE SUDATE

În tabelul 7.14 sînt grupate principalele defecte posibile şi metodele de control, extrase din STAS 7084-64.

7.7.5. CONTROLUL ÎMBINĂRILOR SUDATE

Sudurile pot avea o serie de defecte, a căror varietate şi frecvenţă creşte la cele realizate manual, iar probabilitatea apariţiei acestora este mai mare la materiale cu sudabilitate scăzută sau la cele nesudabile în condiţii normale.

Controlul îmbinărilor sudate se face în diferite faze ale procesului tehnologic, astfel: *controlul premergător*, înaintea începerii sudării (calitatea certificată a materialelor, starea suprafeţelor, poziţia relativă a acestora etc.); *controlul în timpul sudării* (realizarea corectă a sudurilor provizorii, respectarea parametrilor regimului de sudare, calitatea curăţirii de zgură a straturilor anterioare etc.); *controlul final al sudurii* prin metode nedistructive sau încercări efectuate pe epruvete decupate din cusătură.

Controlul final se realizează prin:

a) Metode de control fără distrugerea piesei: controlul vizual al zonei sudurii cu ochiul liber, lupa sau microscopul portativ; controlul etanşeităţii cu amoniac şi hîrtie de turnesol, cu petrol şi vopsea de cretă pe partea opusă, prin probarea hidraulică cu presiune de 1,5...2 ori presiunea nominală; controlul cu radiaţii X sau γ (STAS E 6606-62) dă o imagine clară asupra naturii, formei şi poziţiei defectelor interioare; defectoscopia magnetică, cu

TABELUL 7.14

Defecte posibile ale îmbinărilor sudate

Grupa de defecte	Tipul defectului	Metoda de control
Abateri dimensionale ale cusăturii	Lățimea neuniformă a cordonului de sudură. Supraînălțarea cordonului de sudură. Concavitate (înălțimea cordonului subdimensionată). Mărimea neuniformă a catetelor, la sudurile de colț. Deformarea pieselor asamblate. Decalarea suprafețelor pieselor care se sudează.	Examinare vizuală. Control prin măsurări cu șabloane.
Defecte exterioare ale cusăturii	Cratere nesudate (discontinuitate a cordonului de sudură).	Examinare vizuală.
	Scurgerea metalului de adaos prin rădăcina cusăturii. Revărsări și stropi de metal de adaos pe suprafața metalului de bază. Arderea metalului. Pori, fisuri. Canal la suprafața piesei, de-a lungul cusăturii.	Examinare vizuală și analiză metalografică.
Defecte în interiorul cusăturii	Incluziuni de gaze. Incluziuni de zgură. Margini netopite. Lipsă penetrație. Fisuri, crăpături.	Examinare vizuală și analiză metalografică în secțiunea respectivă. Control prin ultrasunete, radiații Röntgen sau gamma.
	Defecte de structură (structură aciculară, structură dendritică).	Analiza metalografică.
	Caracteristici mecanice și tehnologice necorespunzătoare.	Încercări mecanice și tehnologice.

pulbere magnetică în suspensie de petrol sau ulei de viscozitate redusă, permite punerea în evidență a defectelor, cu precădere a fisurilor de suprafață sau de mică profunzime; defectoscopia cu ultrasunete permite descoperirea și localizarea în spațiu a defectelor interioare;

b) Metode de control cu distrugerea piesei. Constă în aplicarea încercărilor standardizate obișnuite și anumitor metode cu prescripții speciale pentru îmbinări sudate (STAS 7932-67; STAS 5976-67; STAS 5540-65; STAS 7356-65), în vederea cunoașterii calității și proprietății sudurilor.

Scanned with OKEN Scanner

Se practică următoarele încercări: tracțiune, îndoire, rezilienţă, duritate, aplatisare pentru ţevi etc.

Se aplică pe epruvete prelevate din cusături (cordonul de sudură-*ZIT*) sau din aşa-zisele *mărci* (sudate în condiţii identice ca şi cusătura);

c) *Analiza metalografică a îmbinării* are ca scop identificarea structurii metalului în cusătură şi în zona influenţată termic.

Defectele constatate se clasifică după un anumit punctaj, fiind împărţite în *defecte remediabile* (crăpături, sufluri sau suduri nepătrunse), *defecte mari neremediabile* (arderea pieselor, oxizi sau incluziuni peste limitele admisibile etc.) şi *defecte mici* şi puţine la număr care pot fi admise fără remedieri.

8

LIPIREA

8.1. GENERALITĂȚI

8.1.1. FENOMENUL TEHNOLOGIC

Prelucrarea materialelor prin lipire este un procedeu tehnologic de asamblare eterogenă, bazat pe interacțiunea reciprocă în zona de contact a atomilor din materialul de adaos (metalic sau nemetalic) în stare lichidă și a celor din materialul de bază în stare solidă.

Într-o asamblare prin lipire, cu metal de adaos în stare topită, se disting (fig. 8.1): zona materialului de bază neafectat de lipire *1*; zona de interacțiune a materialului de adaos cu materialul de bază — stratul intermetalic *2*; zona materialului de adaos solidificat *3*.

8.1.2. FACTORII DETERMINANȚI

Calitatea unei asamblări prin lipire este determinată de următorii factori:

1. Asigurarea contactului intim între metalul de adaos și cel de bază, realizat prin:

a) îndepărtarea oxizilor, grăsimilor și acoperirilor metalice și nemetalice; îndepărtarea peliculei de oxizi se realizează cu ajutorul unei atmosfere reducătoare de CO sau H_2 sau depunerea de fluxuri dizolvante ale oxizilor.

Între viteza de dezoxidare și temperatura de lucru (fig. 8.2) trebuie să existe o anumită dependență, astfel ca dezoxidarea să se încheie cu puțin timp înainte de lipire (cazul optim, curba *2*). În cazul *1*, pînă la lipire, suprafața piesei se oxidează din nou, iar în cazul *3* lipirea nu se realizează deoarece pelicula de oxizi nu a fost îndepărtată;

b) realizarea unei bune umectări (umezire) de către metalul de adaos, a celor două suprafețe de asamblat. Prin capacitate de umectare se înțelege mărimea suprafeței de contact ce se obține la depunerea unei picături de material de adaos pe suprafața pregătită a piesei de asamblat

Scanned with OKEN Scanner

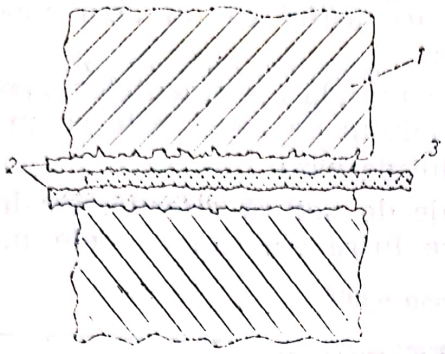


Fig. 8.1. Secțiune într-o asamblare prin lipire:
1 — materialul de bază; 2 — stratul intermetalic; 3 — materialul de adaos.

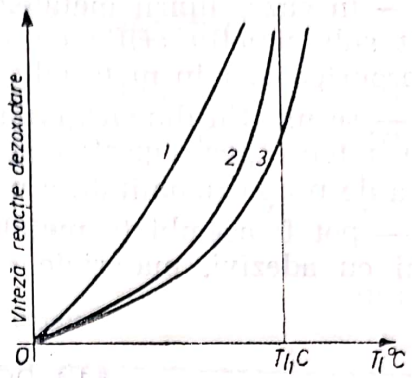


Fig. 8.2. Variația vitezei de reacție de dezoxidare și temperatura de lucru, în cazul a trei fluxuri distincte.

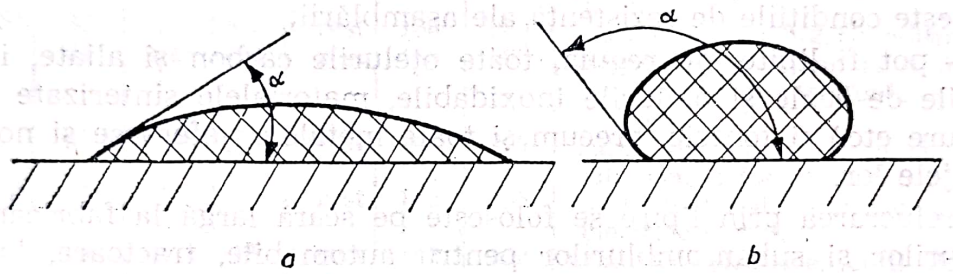


Fig. 8.3. Limite ale gradului de umectare:
a — bună; b — slabă.

prin lipire (fig. 8.3). Cu cît unghiul α este mai mic, cu atît aderența este bună și suprafața umectată mai mare; la valori ale acestuia de circa 90° — lipire bună, la 45° — lipire foarte bună.

2. *Compușii intermetalici,* formați prin difuziunea metalului de adaos cu metalul de bază, trebuie să nu fie fragili și să aibă caracteristici apropiate cu ale metalului de bază.

3. *Sporirea intensității difuziunii,* prin creșterea temperaturii de lipire (în cazul asamblării metalelor). O bună difuziune se realizează cînd $\alpha < 45°$ și temperatura de lucru este, de exemplu, 700—800°C pentru lipirea fontei și 800—1 000°C pentru lipirea oțelului cu alamă.

4. *Existența unei bune aderențe a materialului de adaos cu materialul de bază,* ca urmare a permanentizării interacțiunii și, de la caz la caz, datorită rolului stratului intermetalic.

8.1.3. AVANTAJELE PROCEDEULUI

Principalele avantaje sînt următoarele:

— îmbinările prin lipire sînt rezistente, curate și cu aspect estetic și, de cele mai multe ori, nu necesită prelucrări ulterioare;

— este un procedeu de asamblare demontabilă, simplu și ieftin;

— realizează o mare productivitate, putînd fi mecanizat sau automatizat;

Scanned with OKEN Scanner

— în cazul lipirii metalelor cu aliaj topit, materialul piesei este încălzit sub punctul critic de transformare astfel că nu apar modificări ale proprietăților în materialul de bază;

— se mențin dimensiunile și forma inițială a elementelor asamblate, întrucît tensiunea superficială a materialului de adaos este cu mult sub limita de proporționalitate a materialului de bază;

— pot fi asamblate metale și aliaje de natură diferită, iar în cazul lipirii cu adezivi, materiale nemetalice între ele sau cu cele metalice.

8.1.4. DOMENIUL DE UTILIZARE

Procedeul are un domeniu larg de utilizare în industria electrotehnică și electronică, în industria construcțiilor de mașini, în industria aeronautică și a rachetelor etc. Astfel:

— se aplică atunci cînd piesele nu se pot suda și cînd lipitura îndeplinește condițiile de rezistență ale asamblării;

— pot fi lipite, de regulă, toate oțelurile carbon și aliate, inclusiv oțelurile de scule și oțelurile inoxidabile, materialele sinterizate (plăcuțele dure etc.) și fontele, precum și toate metalele neferoase și nobile ca și aliajele lor.

Prelucrarea prin lipire se folosește pe scară largă la fabricarea ansamblurilor și subansamblurilor pentru automobile, tractoare, biciclete, frigidere, truse de sudare și tăiere cu flacără, aparate și instalații de bord în aeronautică, circuite imprimate și integrate, conexiuni în circuite și rețele etc., preponderent fiind domeniul asamblării elementelor metalice.

După temperatura de fuziune a materialului de adaos și rezistența mecanică a lipiturii, se folosesc frecvent următoarele metode de lipire a materialelor metalice: lipirea moale și lipirea tare (tab. 8.1).

TABELUL 8.1

Metode de asamblare prin lipire a metalelor

Metoda	Temperatura de fuziune a aliajului de lipit, °C	Rezistența mecanică σ_r daN/mm²
Lipirea moale	sub 400	4—8
Lipirea tare	peste 400	30—50

8.2. LIPIREA MOALE

Se aplică tuturor metalelor și aliajelor la îmbinarea pieselor cu solicitări mecanice și regim de temperatură reduse, cum ar fi: instalații sanitare, radiatoare autovehicule, frigidere, obiecte de uz casnic, componente electronice, conexiuni de conductori în electronică și telecomunicații etc.

Scanned with OKEN Scanner

8.2.1. MATERIALE DE ADAOS PENTRU LIPIREA MOALE

Aliajele cele mai utilizate sînt cele pe bază de Sn—Pb și Sn—Pb—Sb (cu adaos de Sb pentru sporirea rezistenței mecanice), conform STAS 96-66 (tab. 8.2), notate cu simbolul *Lp* (lipire), urmat de un număr care indică procentul mediu de Sn și de simbolul Sb cînd conținutul acestuia este minimum 1%.

TABELUL 8.2

Aliaje pentru lipirea moale

Marca	Sn %	Sb %	Pb %	Temperatura, °C		Domeniul de utilizare
				solidus	lichidus	
Lp 20 Sb	20	0,8—1,2	rest	184	270	Oțel, plumb, cupru, alamă.
Lp 30	30	max. 0,25	rest	183	256	Tablă de zinc, tablă și sîrmă zincată.
Lp 30 Sb	30	0,5—1,8	rest	186	250	Lipituri în tinichigerie obișnuită.
Lp 37	37	max. 0,25	rest	183	190	Manșoane de plumb la cabluri de conductori în telefonie și telegrafie.
Lp 40	40	max. 0,25	rest	183	209	Tablă de alamă și tablă cositorită, conductori electrici.
Lp 40 Sb	40	2,3—2,8	rest	183	235	Radiatoare auto, piese de aparate electrice și radio.
Lp 50	50	max. 0,25	rest	183	209	Contoare electrice, cutii de conserve, contoare de gaz, sîrmă zincată.
Lp 60	60	max. 0,12	rest	183	190	Lipituri fine în electrotehnică, radiofonie; pentru metale ușor fuzibile.
Lp 65	65	max. 0,12	rest	183	190	Este aliajul eutectic Sn-Pb folosit la lipiri de circuite imprimate.
Lp 90	90	max. 0,12	rest	183	213	Lipituri speciale la aparate sanitare, vase alimentare, cutii de conserve în interior.

Aliajele cu Sn—Pb au temperatura de topire cuprinsă între 256 și 183°C, aceasta fiind descrescătoare odată cu creșterea conținutului de Sn. Cele cu conținut redus de Sn (20—50%) se folosesc la lipiri uzuale, fiind cele mai ieftine.

Aliajele pe bază de Sn—Pb—Sb sînt de tipul Lp 20 Sb, Lp 30 Sb, Lp 40 Sb, au temperaturi cuprinse între 270 și 235°C și se folosesc la lipirea oțelurilor, cuprului, alamei etc., a componentelor electrice și electronice etc.

Aliajele pentru lipire se livrează în vergele, blocuri, benzi, pulbere sau pastă și, uneori, sub formă de țeavă subțire cu flux și interior (fludor).

8.2.2. FLUXURI ȘI GAZE REDUCĂTOARE FOLOSITE PENTRU LIPIREA MOALE

Spre deosebire de îmbinarea prin sudare, fluxurile pentru lipit nu participă la formarea cusăturii (fluidizarea băii, modificarea compoziției băii, sporirea ionizării, dizolvarea și separarea oxizilor în zgură etc.), ci

Scanned with OKEN Scanner

doar cu rol de decapant și dezoxidant al suprafeței de lipit în vederea sporirii aderenței metalului de adaos.

Fluxurile pentru lipire se livrează sub formă de: *pulbere* — pe bază de clorură de amoniu (țipirig), ca dizolvant; *pastă* — amestec de grăsimi, uleiuri și rășini cu un dizolvant pe bază de NH_4Cl; *baie de săruri topite* — cu rol de dizolvant, sursă de căldură și protecție a suprafeței piesei din afara zonei lipiturii.

Cele mai utilizate fluxuri, pentru lipirea moale, sînt:

— *Compușii organici:* stearina la lipire cu Pb; colofoniul (sacîzul) pentru cupru și alame;

— *Compuși anorganici:* clorura de amoniu — NH_4Cl și acidul clorhidric — HCl pentru lipirea zincului ș.a.; clorura de zinc — $ZnCl_2$, pentru oțeluri și aliaje de cupru.

Întrucît după lipire, fluxurile anorganice nu se evaporă și pot avea o acțiune puternic corozivă, piesele trebuie bine spălate în zona îmbinării.

Atmosfera controlată, poate fi utilizată cu următoarele compoziții, pentru: asamblarea prin lipire a pieselor din Cu, Ag, Zn și Pb, 88% N_2+ +1% H_2+1% CO+10%CO_2; lipirea oțelului cu conținut redus de C, a Ni și monelului,70% N_2+15% H_2+10%CO+5% CO_2; lipirea oțelului cu conținut mediu sau ridicat de C, 75% N_2+15% H_2+10 CO_2.

8.2.3. TEHNOLOGIA ȘI UTILAJELE FOLOSITE LA LIPIREA MOALE

8.2.3.1. **Pregătirea asamblării pentru lipirea moale.** Cu deosebire la lipire, față de sudare, suprafețele de contact trebuie să fie bine curățite, în ordine succesivă: pe cale termică (arderea lacurilor și vopselelor) sau chimică (decapare și degresare prin fierbere în soluții alcaline); curățire mecanică (cu perie de sîrmă, pilă, pînză abrazivă), pînă la obținerea luciului metalic.

Înainte de lipire, piesele se apropie și se fixează în poziția cerută, astfel ca rostul dintre acestea să asigure pătrunderea prin capilaritate a metalului de adaos și realizarea unei pelicule continue cît mai subțire (grosimea optimă 0,02—0,25 mm).

8.2.3.2. **Tipuri de îmbinări pentru lipirea moale.** La alegerea tipului de îmbinare (fig. 8.4), trebuie evitată varianta simplă *cap la cap* (*a, b*), fiind recomandate îmbinările cu *margini suprapuse* (*c*), *sau cu margini răsfrînte (d),* întrucît rezistența mecanică și etanșeitatea lipiturii este funcție de mărimea suprafeței de contact. Pentru proiectarea corectă a diverselor tipuri de îmbinări, se recomandă folosirea de eclise sau margini îndoite (*a*), manșoane de legătură sau capătul lărgit al uneia din țevi (*b*), țevi răsfrînte sau cu flanșă specială *(c),* margini răsfrînte la recipienți *(d),* ambutisarea capacului sau folosirea unui guler intermediar de susținere la lipirea unui racord (*e*) etc. (fig. 8.5).

8.2.3.3. **Tehnologii de lipire.** Funcție de sursa de încălzire, pot fi utilizate următoarele tehnologii de lipire:

a) Lipirea cu ciocanul de lipit se folosește frecvent pentru temperaturi cuprinse între 250 și maximum 600°C. Peste această temperatură are loc oxidarea la suprafața ciocanului de lipit, iar Sn difuzează în vîrful de Cu al acestuia dînd constituenți fragili insolubili în pelicula îmbinării.

După încălzire, vîrful ciocanului de lipit se curăță de oxizi (cu pila sau pînza abrazivă) și se cositorește (prin frecare în țipirig, în prezența

Scanned with OKEN Scanner

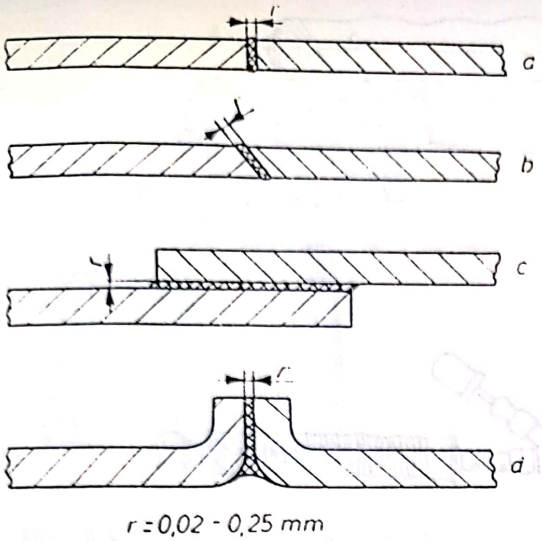


Fig. 8.4. Principalele tipuri de îmbinări prin lipire moale:
a — cap la cap; **b** — cu margini teşite; **c** — cu margini suprapuse; **d** — cu margini răsfrinte.

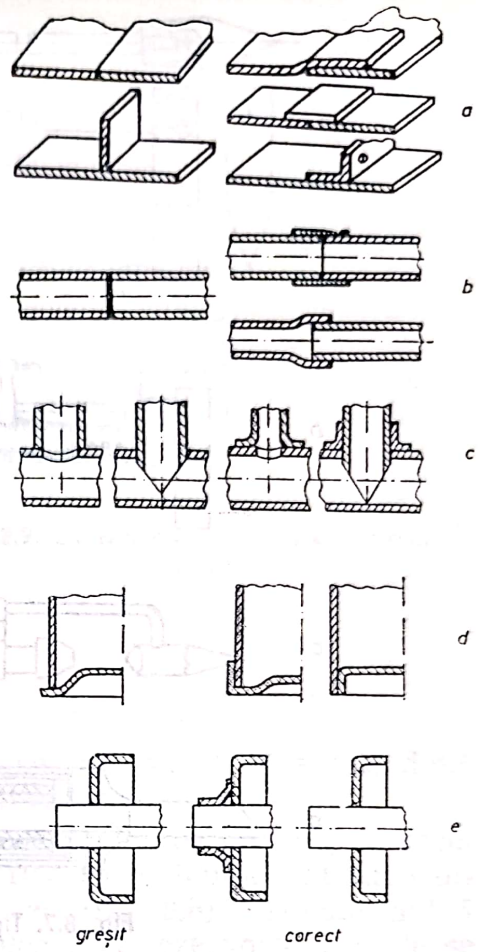


Fig. 8.5. Exemple de proiectare corectă a îmbinărilor prin lipire.

unei particule de aliaj de lipit). Se adaugă în locul îmbinării fluxurile şi vergeaua de adaos şi se execută lipirea cu un strat cît mai fluid, astfel ca acesta să umecteze suprafeţele celor mai mici interstiţii dintre piesele perfect curate, poziţionate şi fixate.

Ciocanele de lipit sînt confecţionate din cupru pentru a avea o bună conductibilitate termică. În unele cazuri, în scopul diminuării interacţiunii Cu cu aliajele de Pb, se montează un vîrf din aliaj de Cu cu 1% Cr, din alpaca sau Ni.

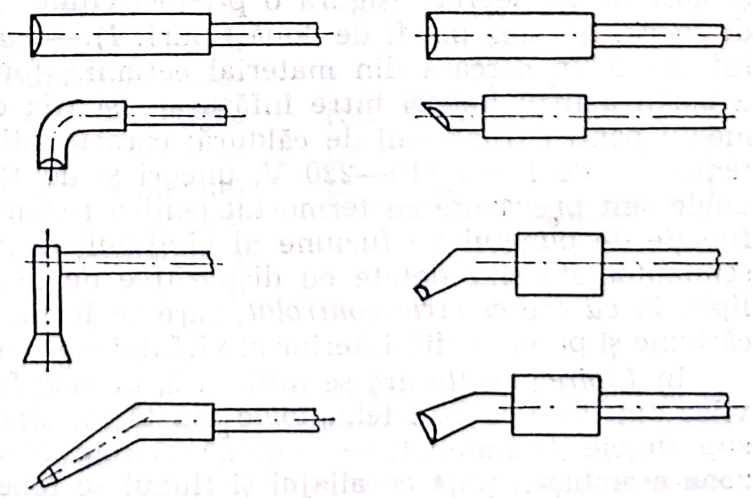


Fig. 8.6. Forme de vîrfuri ale ciocanelor de lipit.

Scanned with OKEN Scanner

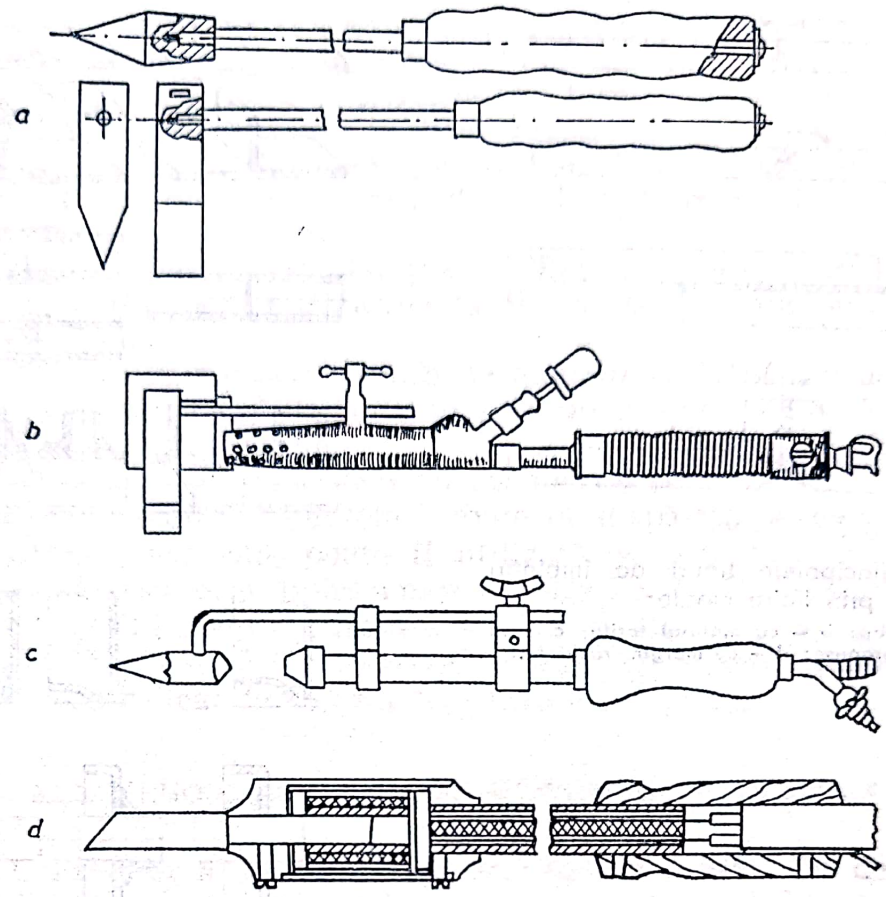


Fig. 8.7. Tipuri de ciocane de lipit.

Prevăzute cu mîner izolator, ciocanele de lipit depind de tipul îmbinărilor și grosimea pieselor de asamblat. Geometria părții active și poziția acesteia față de axa mînerului se aleg funcție de forma și accesibilitatea îmbinării (fig. 8.6).

Ciocanele simple de lipit, utilizate cu intermitență, sînt încălzite la forje portabile sau cu flacăra de gaze *(a)*, iar cele cu funcționare continuă au instalații proprii de încălzire cu lampa de benzină (*b*), flacără de gaz (*c*) sau rezistență electrică (*d*), figura 8.7.

Ciocanele electrice sînt cele mai des utilizate, deoarece sînt simple și ușor de manevrat, asigură o productivitate ridicată și condiții optime de lucru. Acestea pot fi de două tipuri: *1*) — *cu rezistență electrică* care, înfășurată în carcasa din material ceramic, formează sursa de încălzire a părții active; uneori între înfășurare și tija din cupru se află ulei ca mediu pentru transferul de căldură; caracteristici: greutatea 0,1—1,0 kg, tensiunea de lucru 110—220 V, uneori și de 12 V; puterea 10—800 W; unele sînt prevăzute cu termostat pentru reglarea temperaturii de regim funcție de punctul de fuziune al aliajului de lipit; cele destinate lipirii semiautomate sînt dotate cu dispozitive de avans automat a sîrmei de lipit; *2*) *cu arc electric controlat,* care se formează între un electrod din cărbune și peretele din interior al vîrfului ciocanului de lipit.

b) *Lipirea cu flacără* se utilizează, în mod frecvent, la asamblarea țevilor din Pb. Procesul tehnologic constă în: aliajul și fluxul se întind pe suprafețele de îmbinat; se asamblează cele două elemente; se încălzește zona asamblării pînă ce aliajul și fluxul se topesc; se fixează, împotriva

Scanned with OKEN Scanner

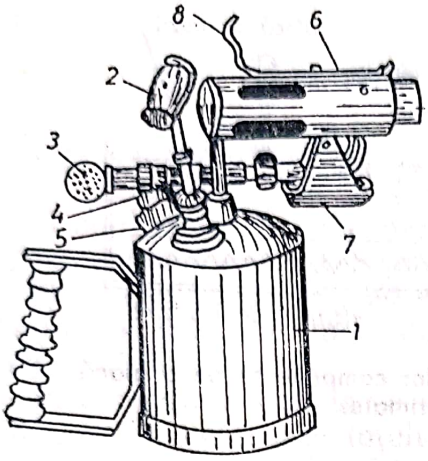


Fig. 8.8. Lampă de lipit cu benzină:

1 — rezervor; 2 — mînerul pompei; 3 — robinet reglare flacără; 4 — dop de umplere; 5 — robinet descărcare aer; 6 — arzător; 7 — preîncălzitor; 8 — suport pentru ciocanul de lipit.

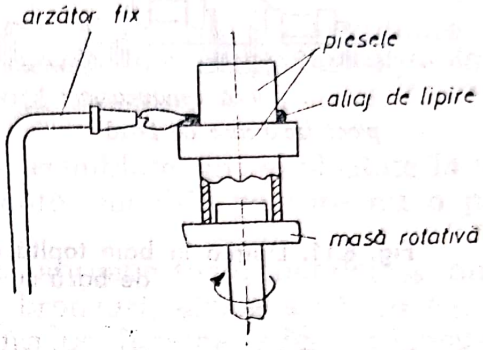


Fig. 8.9. Lipirea cu arzător fix și masă rotativă.

deplasării relative a celor două elemente; se lasă să se răcească, după care se curăță adaosul tehnologic și fluxul în exces.

Încălzirea pentru lipire cu flacără se face cu lampa de lipit, al cărei suflai poate realiza amestecul carburant și flacăra reglabilă, putînd fi folosit orice fel de combustibil lichid sau gazos (fig. 8.8). Prin buşonul *5* se intoduce benzină, petrol lampant sau alcool în rezervorul *1* unde se crează o suprapresiune (circa 0,5 ats) cu ajutorul pompei *2*. După preîncălzirea arzătorului *6*, prin combustia liberă în tava 7, se reglează robinetul *3* și se aprinde flacăra arzătorului. Supapa *5* servește la evacuarea aerului, după încheierea lucrului.

Lipirea cu flacără, pentru care poate fi folosit și un arzător similar celui de sudare, se aplică la piese mari sau de formă complexă, atunci cînd ciocanul de lipit este impropriu (lipituri pe suprafețe întinse, temperatură ridicată de încălzire, uniformitate în transmiterea căldurii pe toată suprafața îmbinării).

În cazul fabricației de serie, spre exemplu o lipire circulară, aliajul și fluxul se așază în zona asamblării, folosind arzător fix și dispozitiv de rotire (fig. 8.9).

c) Lipirea prin cufundare (imersie) se utilizează la producția de serie și poate fi realizată prin două metode: cufundarea pieselor de lipit asamblate într-o baie de săruri topite, după ce metalul de adaos a fost așezat în rostul lipiturii sau cufundarea completă sau numai parțial a pieselor de lipit asamblate, într-o baie din topitură de aliaj de lipire acoperită cu un strat de flux.

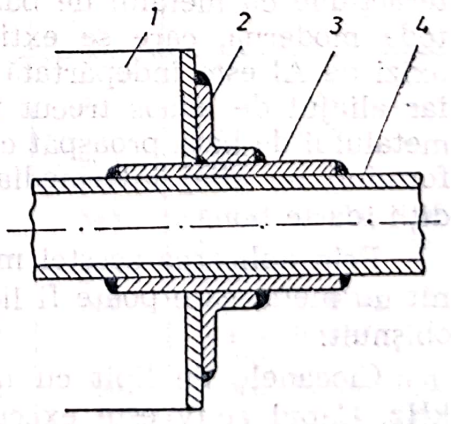


Fig. 8.10. Ansamblu (racord la un rezervor) realizat prin lipirea moale în baia de săruri:

1 — virolă; 2 — flanșă; 3 — manșon; 4 — racord.

Scanned with OKEN Scanner

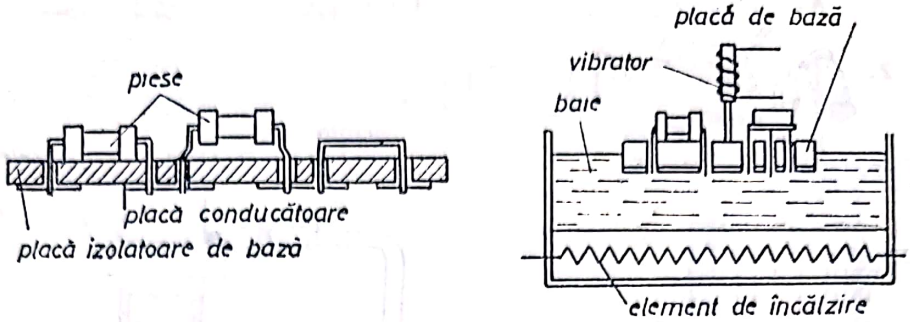


Fig. 8.11. Lipirea în baie topită a elementelor componente pe o placă de bază cu circuite imprimate.

În figura 8.10 este prezentat un ansamblu realizat prin lipire moale într-o baie de săruri topite.

O aplicație a metodei, în industria electronică, o constituie fixarea și conexarea din punct de vedere electric a diferitelor elemente componente pe o placă de bază cu circuite imprimate (fig. 8.11). Elementele componente sînt așezate cu conductorii de legătură în locașurile plăcii izolatoare, după care partea de jos a plăcii se cufundă în baia topită din aliaj de lipire, realizîndu-se simultan toate punctele de lipitură (uneori cîteva sute). O calitate mai bună poate fi realizată dacă, în timpul scurt al imersiei, placa este vibrată de un sistem din dotarea instalației.

d) Metode de lipire a aluminiului. La temperatura procesului de asamblare prin lipire a aluminiului (200—300°C), în contact cu aerul se formează foarte ușor o peliculă de oxid de aluminiu, care nu poate fi îndepărtată (are temperatura de fuziune de 2 050°C). Așadar, lipirea este practic irealizabilă prin metodele tehnologice anterioare.

Lipirea moale a aluminiului poate fi realizată, dacă se folosesc fluxuri speciale pe bază de clorură de zinc și de amoniu și fluorură de metale alcaline. Ca aliaj de lipire se folosește zincul cu adaosuri de staniu, plumb și cadmiu. Aliajele obișnuite Sn-Pb nu pot realiza lipitura.

Cele mai bune rezultate pot fi obținute prin folosirea *ciocanelor de lipit cu ultrasunete,* unde nu mai sînt necesare fluxurile care, prin interacțiune cu metalul de bază, devin chiar dăunătoare. Prin această metodă modernă, care se extinde tot mai mult în industrie, pelicula de oxizi de Al este îndepărtată prin vibrațiile mecanice de înaltă frecvență, iar aliajul de adaos trecut în stare topită vine în contact cu suprafața metalului de bază proaspăt curățită, interacționează instantaneu cu acesta, formînd un aliaj intermediar și realizînd îmbinarea prin lipire în condiții foarte bune.

Prin aplicarea acestei metode noi de lipire moale, aluminiul a devenit un metal care poate fi lipit tot atît de ușor ca oricare metal sau aliaj obișnuit.

Ciocanele de lipit cu ultrasunete lucrează cu frecvența de 18—20 kHz. Capul activ este executat dintr-un aliaj de Cr-Ni, întrucît Cu ar interacționa cu Zn din aliajele de lipire, formînd alama care intră în lipitură înlesnindu-i acesteia tendința de corodare.

Alte metode de asamblare a aluminiului, însă prin lipirea tare, vor fi prezentate în continuare.

Scanned with OKEN Scanner

8.3. LIPIREA TARE

8.3.1. CARACTERISTICI, CONDIȚII, DOMENIU DE UTILIZARE

Lipirea tare (brazura) este o metodă tehnologică de asamblare realizată cu aliaje de adaos a căror temperatură de fuziune depășește 400°C, atunci cînd se cere o mai mare rezistență mecanică a îmbinării (lipiturii) ce poate ajunge la 50 daN/mm².

Se folosește atunci cînd elementele asamblate sînt exploatate la temperatură și solicitări mecanice importante, condiție pe care nu o poate satisface lipirea moale.

Prin această metodă se asamblează aproape toate metalele și aliajele feroase și neferoase (oțeluri, fonte, bronzuri, alame etc.), cu condiția ca aliajul de adaos să aibă temperatura de fuziune inferioară materialului de bază. Se aplică, în mod frecvent, în industria de automobile, tractoare, motociclete, la asamblarea cadrelor de bicicletă, la lipirea de rezistență și etanșare a țevilor din alamă și cupru, la îmbinarea aparatajelor electrice, la fixarea plăcuțelor din materiale dure pe scule așchietoare, sape de foraj și în alte numeroase domenii.

8.3.2. ALIAJE (MATERIALE DE ADAOS) ȘI FLUXURI PENTRU LIPIREA TARE

Aliajele frecvente folosite la lipirea tare au temperatura de topire cuprinse între 550 și 900°C și sînt de tipul alame (Cu-Zn) standardizate conform STAS 204-68 și STAS 294-62 sau de tipul aliaje cu argint (Cu-Ag) STAS 295-60, tabelul 8.3:

— alame (Cu-Zn) pentru lipit, folosite la lipirea materialelor feroase, nichelului, aliajelor de cupru cu nichel. Ca flux se utilizează boraxul;

TABELUL 8.3

Principalele aliaje folosite pentru lipirea tare

Marca sau denumirea aliajelor	%					Temperatura de topire, °C	Domeniu
	Cu	Si	Sn	Zn	Ag		
Am Si Lp STAS 204-68	58—62	0,25	—	rest	—	900	Oțel, fontă, bronzuri, alame
Am Si Lp STAS 204-68	59—61	0,25	0,8—1,2	rest	—	900	Idem
Alamă 42	42	—	—	rest	—	845	Oțeluri și aliaje pe bază de cupru etc.
Alamă 48	48	—	—	rest	—	870	Idem
Aliaj cu Ag	36	—	—	rest	12	830	Cupru și aliaje de cupru, oțeluri, fonte.
Aliaj cu Ag	25	—	—	rest	50	720	Cupru, bronz, lipituri fine în electrotehnică.
Aliaj cu Ag	26	—	—	rest	70	735	Conductori electrici, metale și aliaje prețioase.

Scanned with OKEN Scanner

— aliaje Cu-Ag, utilizate frecvent la lipirea metalelor și aliajelor feroase și neferoase (în afară de Al și Mg). Aliajele cu argint au o bună rezistență mecanică și la coroziune, o temperatură mai joasă de topire, însă sînt mai scumpe. Întrucît au o conductibilitate electrică bună, se folosesc în special la lipirea contactelor electrice. Ca flux, se utilizează boraxul;

— aliaje Al-Si, utilizate la lipirea aluminiului și aliajelor sale.

Pentru lipirea tare, în afară de borax, ca fluxuri mai pot fi utilizate acidul boric, fluorurile, clorurile etc., sub formă de praf, pastă sau lichide.

8.3.3. TEHNOLOGII ȘI UTILAJE PENTRU LIPIREA TARE

Curățirea și pregătirea îmbinării, se face după același principiu ca la lipirea moale. La proiectarea îmbinării trebuie să se prevadă posibilitatea așezării aliajului de lipit cît mai exact în locul lipiturii (fig. 8.12, *a*), astfel încît să se evite scurgerea acestuia din zonă (fig. 8.12, *b*). De asemenea, piesele componente trebuie să fie preasamblate (fig. 8.13) înainte de lipire, în vederea evitării mișcărilor relative, cum și pentru sporirea rezistenței îmbinării.

Încălzirea. După modul în care se face încălzirea zonei îmbinării, în vederea topirii metalului de adaos și realizării interacțiunii acestuia cu metalul de bază, lipirea tare poate fi realizată folosind următoarele tehnologii și utilaje:

a) Lipirea cu flacără de gaze se realizează frecvent, folosind suflaiuri (arzătoare) asemănătoare celor de sudare. Întrucît nu sînt necesare temperaturi ridicate, în locul oxigenului poate fi utilizat aerul comprimat și în locul acetilenei și alte gaze combustibile. Pentru lipirea unor piese mici, se utilizează arzătoare Bunsen (fig. 8.14), care ard în aer cu gaze sau acetilenă. Pentru piese mari, se folosesc suflaiurile pentru su-

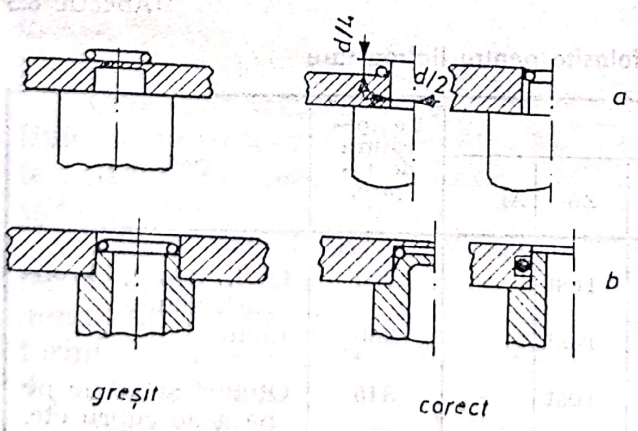


Fig. 8.12. Exemple de poziționare a pieselor de asamblat și aliajului de adaos la lipirea tare.

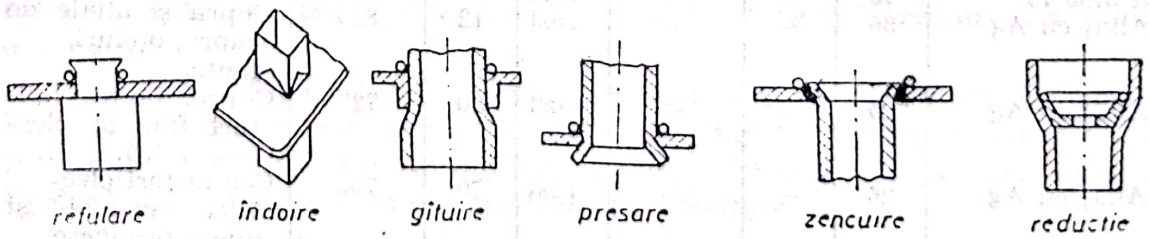


Fig. 8.13. Exemple de fixare a părților componente ale îmbinării pentru lipirea tare.

dare cu amestec carburant ($O_2/C_2H_2 < 1$) sau suflaiuri de tip special, la care conducta de aer este înfășurată de conducta de gaze (fig. 8.15). Flacăra se reglează într-un raport potrivit de aer și combustibil avînd temperatura optimă cînd este de culoare albastru deschis.

Fluxul, ca și aliajul de lipire sub formă de pulbere, folii sau sîrmă debitate la lungimea necesară și curbate după configurația rostului lipiturii, se așază între fețele de lipit sau în imediata apropiere a locului îmbinării.

Încălzirea și topirea aliajului se face astfel ca sursa de căldură să nu acționeze direct asupra fețelor de îmbinat, ci prin conductivitatea termică a metalului de bază.

În figura 8.16 este prezentată schema unei instalații de lipire cu flacără și bandă transportoare, prevăzută cu cameră de lucru necesară menținerii temperaturii de regim și micșorării pierderilor de căldură.

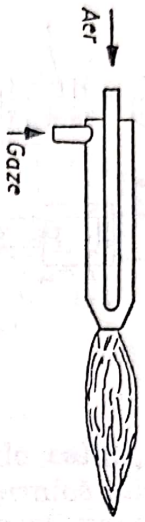


Fig. 8.15. Arzător pentru lipirea tare a pieselor mari.

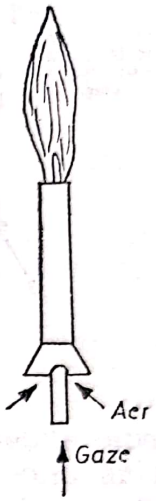


Fig. 8.14. Arzător Bunsen folosit pentru lipirea tare a pieselor mici.

b) Lipirea prin rezistență electrică se realizează prin încălzirea locului lipiturii, pe baza trecerii curentului electric prin piesele de lipit, similar cu încălzirea la sudarea electrică prin presiune. Piesele curățite, între care a fost interpusă o folie din aliaj de lipire, sînt presate în momentul realizării temperaturii de regim. Ca exemplu, menționăm lipirea benzilor de fierăstrău.

c) Lipirea prin curenți de înaltă frecvență (CIF) realizează îmbinări de calitate superioară și productivitate deosebit de ridicată. Se aplică, cu precădere, la piese din oțeluri feromagnetice, însă pot fi lipite și piese din cupru sau alte metale și aliaje. În figura 8.17 este reprezentată schema instalației pentru lipirea prin curenți de înaltă frecvență.

Folosind curenți cu gama de frecvență între 2 000 și 500 000 Hz, lipirea prin inducție se realizează în timp foarte scurt (cîteva zecimi de secundă pînă la cîteva secunde). Din acest motiv este necesară o pregătire deosebit de corectă a pieselor, folosind cît se poate de puțin flux și așezînd aliajul de lipit cît mai aproape de rostul lipiturii. Construit în

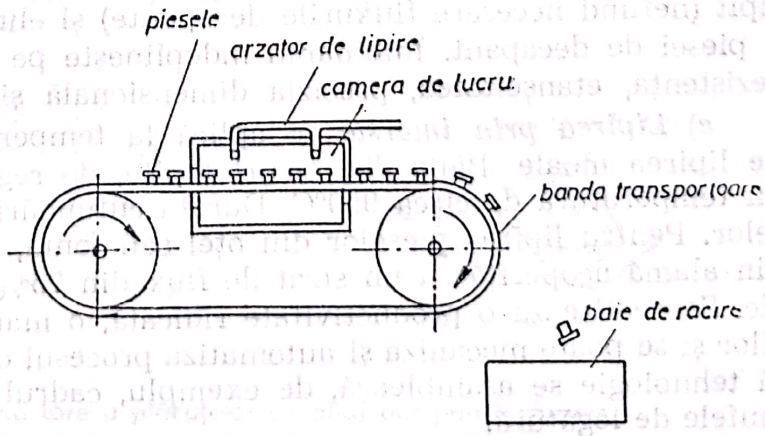


Fig. 8.16. Instalație de lipire în serie cu flacără și bandă transportoare.

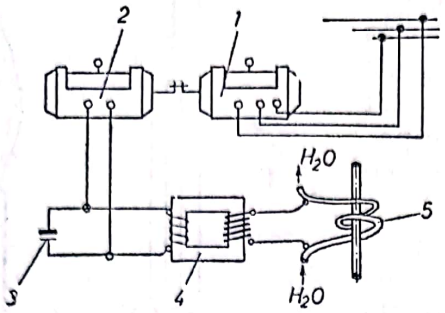


Fig. 8.17. Schema instalației pentru lipirea prin curenți de înaltă frecvență:

1 — motor asincron trifazat; 2 — generator de înaltă frecvență; 3 — condensator; 4 — inductor.

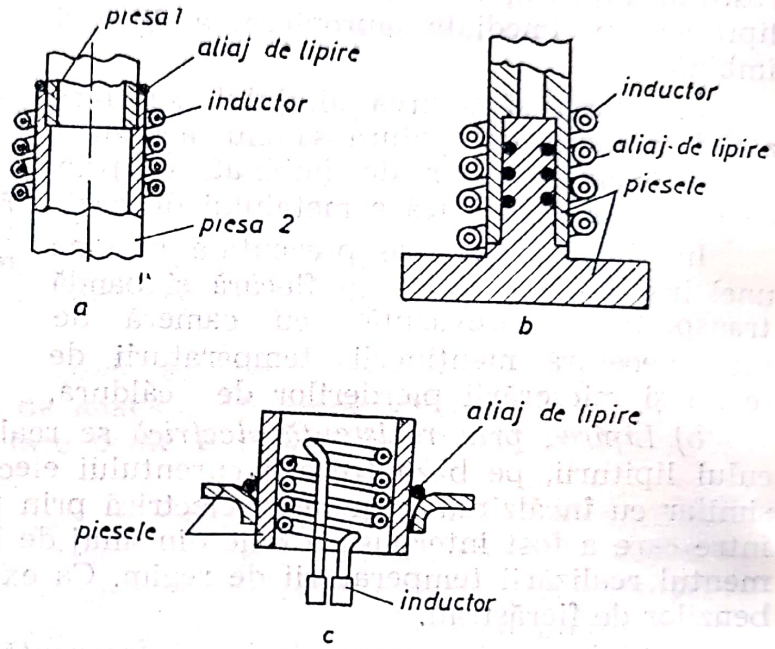


Fig. 8.18. Exemple de lipire tare prin curenți de înaltă frecvență:

a și b — cu inductor exterior; c — cu inductor așezat în interiorul piesei.

mod special pentru o anumită serie de piese, inductorul este așezat în exteriorul sau interiorul piesei (fig. 8.18).

d) Lipirea în cuptoare cu atmosferă protectoare este utilizată în domeniul pieselor mici de serie mare sau de masă, de diferite grosimi și calități de material, care suportă încălzirea în întregime fără a suferi deformări. Cuptoarele sînt, de obicei electrice, cu funcționare continuă de tipul bandă transportoare. Piesele se asamblează astfel ca, după lipire, materialul de adaos să umple complet rostul lipiturii fără să se scurgă. Atmosfera controlată din cuptor protejează piesele și aliajele de lipit (nefiind necesare fluxurile decapante) și elimină operația de spălare a piesei de decapant. Îmbinarea îndeplinește pe deplin calitățile privind rezistența, etanșeitatea, precizia dimensională și aspectul estetic.

e) Lipirea prin imersie se aplică la temperaturi mai ridicate, față de lipirea moale. Băile din săruri topite, de regulă cloruri sau cianuri, au temperatura de circa 950°C. Durata cufundării este de ordinul minutelor. Pentru lipirea pieselor din oțel sau fontă, poate fi utilizată o baie din alamă acoperită cu un strat de flux din 75% borax și 25% acid boric. Se realizează o productivitate ridicată, o mare omogenitate a lipiturilor și se poate mecaniza și automatiza procesul de producție. Prin această tehnologie se asamblează, de exemplu, cadrul de bicicletă din țevi și mufele de legătură.

Scanned with OKEN Scanner

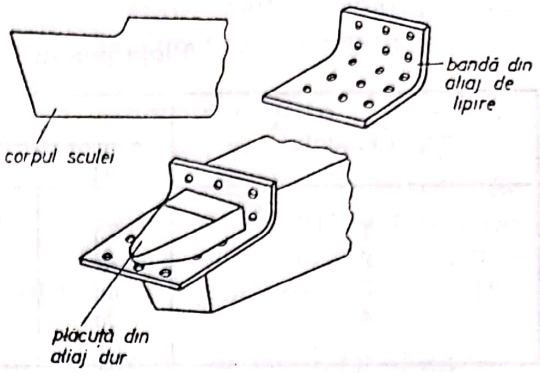


Fig. 8.19. Pregătirea lipirii unei plăcuțe de aliaj dur pe corpul sculei aşchietoare.

f) Cazuri particulare

— La lipirea a două piese din materiale de calități deosebite, apar dificultăți datorită coeficienților de dilatare termică diferiți, cum ar fi *cazul lipirii plăcuțelor din aliaje dure sinterizate* pe suportul din oțel carbon al sculelor aşchietoare. Deoarece carbura din wolfram are coeficientul de dilatare pe jumătate cît al oțelului, aliajul de lipire este deosebit de solicitat la răsucire, la care se mai adaugă eforturi unitare importante şi în exploatare.

În acest caz, se alege un aliaj de lipit fără fragilitate la roşu şi cu temperatură de topire relativ scăzută, ca de exemplu aliajele de argint, astfel ca tensiunile termice la contracție să fie preluate de deformările peliculei lipiturii.

După pregătirea fețelor de asamblare, între plăcuță şi locaşul din corpul sculei aşchietoare, se aşază folia de lipit şi fluxul sub formă de pastă sau granule (fig. 8.19). Încălzirea zonei îmbinării poate fi realizată în variantele: cu flacără de gaze (*a*), prin rezistență electrică (*b*), prin curenți de înaltă frecvență (*c*) etc. (fig. 8.20). Cînd se realizează temperatura de regim (circa 900°C), plăcuța este presată în locaş.

În electrotehnică şi în alte domenii, la *lipirea tare a aliajelor din aluminiu şi a aluminiului pur*, trebuie să se țină seamă de afinitatea deosebită a aluminiului față de oxigen şi apariția aproape instantanee a peliculei de oxizi pe fețele de lipit, fapt pentru care lipirea, în acest caz, trebuie să se facă cu respectarea strictă a prescripțiilor tehnologice, mai cu seamă privind evitarea formării oxizilor şi îndepărtarea acestora în timpul procesului metalurgic.

Compozițiile cîtorva aliaje de lipit pentru aluminiu sînt date în tabelul 8.4, în care participarea aluminiului este de peste 75%. Temperatura de fuziune a acestor aliaje (între 540 şi 600°C) este de puțin sub

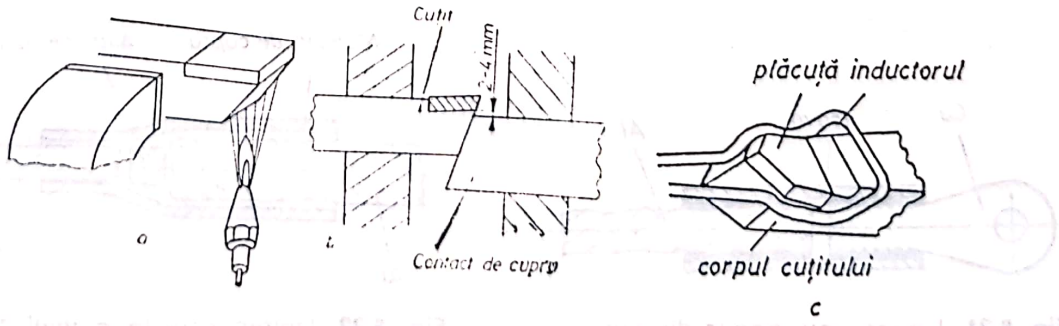


Fig. 8.20. Lipirea tare a plăcuțelor de aliaj dur prin încălzire:
a — cu flacără; b — prin rezistență; c — prin inducție.

TABELUL 8.4

Aliaje pentru lipirea tare a aluminiului

Tipul aliajului	%					
	Al	Cu	Ni	Si	Sn	Cd
1	75	3	1	9	9	3
2	77	2	2	3	4	12
3	86	4	—	10	—	—
4	95	—	—	5	—	—

cea a aluminiului pur. Fluxurile speciale folosite conțin clorură de litiu și fluoruri, cum și alte săruri, avînd rolul de decapant puternic a oxidului de aluminiu.

Mai frecvent se aplică încălzirea cu flacără de gaze, prin deplasarea continuă a flacării pe piesele de lipit și nu pe vergeaua din aliaj de lipire, în vederea încălzirii uniforme a întregii zone a îmbinării și pentru evitarea oxidării metalului de adaos. Rostul lipiturii trebuie bine umplut astfel ca, după cristalizare, să se evite retasura de contracție.

După efectuarea lipirii, fluxul trebuie îndepărtat în totalitate de pe suprafața piesei, prin spălare cu apă fierbinte și peria de sîrmă; pentru piesele de formă complexă, pentru garantarea îndepărtării complete a fluxului coroziv, după spălare acestea sînt introduse într-o soluție de 10% acid azotic timp de circa 10 minute, urmată de o spălare intensă cu apă fierbinte. În final, zona lipiturii se acoperă cu un strat de ulei de parafină.

În figura 8.21 este reprezentată lipirea corectă a unui papuc din cupru cu un cablu din aluminiu, iar în figura 8.22, lipirea corectă a unui conductor din aluminiu cu altul din cupru, pentru care s-a folosit un aliaj Ag — Cu — Pb și manșon din cupru.

Încălzirea în cuptoare sau lipirea prin cufundare se aplică mai rar pentru lipirea tare a aluminiului.

8.4. LIPIREA CU ADEZIVI

Asamblarea prin lipire a metalelor cu materiale nemetalice (adezivi) se bazează pe fenomenul de absorbție, la care îmbinarea se realizează ca urmare a legăturilor interatomice sau intermoleculare între adeziv și

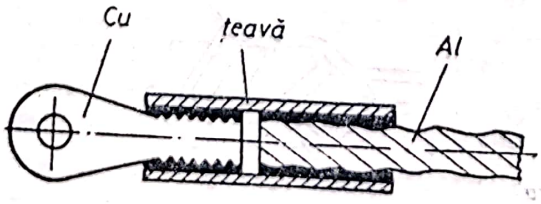


Fig. 8.21. Lipirea unui papuc din cupru cu un cablu din aluminiu.

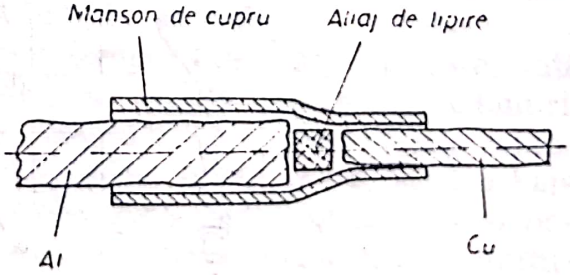


Fig. 8.22. Lipirea corectă a unui conductor din cupru cu un conductor din aluminiu.

Scanned with OKEN Scanner

metalul de bază. În cadrul procesului interacțiunii, pot fi realizate și legături de valență ale atomilor superficiali, ca fiind o corespondență a unei legături chimice în moleculele adezivului.

Caracteristic pentru această metodă de asamblare prin lipire este faptul că aportul de căldură este nul sau aproape nul și, ca urmare, asupra proprietăților materialului de bază nu se exercită nici o influență.

Prin lipirea cu adezivi poate fi realizată lipirea uniformă a materialelor de natură diferită (lemn, metal, cauciuc, sticlă, materiale ceramice etc.), asigurîndu-se prin straturile aplicate o bună izolare electrică, termică, fonică și de protecție anticorozivă.

Îmbinarea prin lipire cu adezivi, deși poate avea un larg domeniu de utilizare, prezintă însă unele dezavantaje relativ la limitele parametrilor de exploatare: are rezistență mecanică redusă, mai ales în cazul solicitărilor la fluaj; demontarea pieselor lipite cu adezivi se poate face numai cu solvenți; uneori demontarea este posibilă numai în regim termic, care poate modifica structura, calitatea, dimensiunile și aspectul estetic al pieselor separate.

Materialele adezive sînt asimilate în mod progresiv și fabricate de industria noastră chimică, fiind elaborate pe bază de poliuretan, epoxizi, epoxi-fenoli, expoxi-poliamide, nitrofenoli, nitrofenoli-silicon, compuși poliaromatici; sticlă solubilă, adezivi ceramici. Domeniul de utilizare a acestora este funcție de solicitările în exploatare ale materialului de bază, unele putînd suporta un regim termic cuprins între —250°C și +1 000°C.

În vederea realizării îmbinării prin lipire cu adezivi, este necesară respectarea succesiunii fazelor procesului tehnologic:

a) etapa de pregătire: realizarea unui anumit grad de rugozitate a suprafețelor de lipit, curățirea cu solvenți și uscarea acestora;

b) efectuarea lipirii: aplicarea adezivului (granule, lichid, pastă sau bandă), punerea în contact a pieselor de îmbinat, întărirea la rece timp de maximum 24 ore sau pe o durată mai mică prin încălzire la 100—200°C, cu menținerea forțelor de apropiere pînă la întărire, pentru evitarea deplasărilor;

c) etapa de încheiere a procesului tehnologic: curățirea de adezivi, verificarea dimensiunilor și aspectului estetic al ansamblului.

Metoda lipirii cu adezivi se utilizează la asamblarea construcțiilor metalice (poduri din grinzi cu zăbrele, cu adezivi pe bază de silicon) ca și asamblarea modelelor de formare din turnătorii, la montaj (fixarea rulmenților în alezaj, aplicarea plăcuțelor de fricțiune și a ferodourilor pentru frîne, blocări de prezoane și piulițe, împachetări de tole de transformator), la etanșări (metal pe metal la temperatură și presiune ridicate, radiatoare și rezervoare auto), la reparații (acoperiri de fisuri, atașarea părților rupte).

Scanned with OKEN Scanner

9

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE

Prelucrarea neconvențională, apărută ca metodă de prelucrare a materialelor metalice (metale, aliaje, pseudoaliaje), practic, imposibil sau foarte greu de prelucrat prin metode clasice (convenționale) din cauza: proprietăților fizico-chimice foarte ridicate (duritate, refractaritate, fragilitate etc.); suprafețe de prelucrat complexe, STE al mașinilor unelte nu asigură o rigiditate suficientă etc., are la ora actuală o aplicare largă în domeniile de vîrf ale tehnicii. Aceasta datorită faptului că eroziunea este un proces de distrugere succesivă a integrității straturilor de suprafață ale obiectului supus eroziunii *OP* de un agent eroziv *AE* și îndepărtarea peliculelor erodate (fig. 9.1). Energia *AE* (de diferite naturi) în zona de interacțiune se transformă în energie (termică, mecanică, chimică) de distrugere și trebuie să depășească valoarea energiei de legătură a particulelor din stratul superficial al *OP*. Funcție de natura energiei distructive care predomină în procesul eroziv, distingem fenomene sau combinații ale acestora: topire, vaporizare, sublimare, ruperi, corodare, fisurare etc.

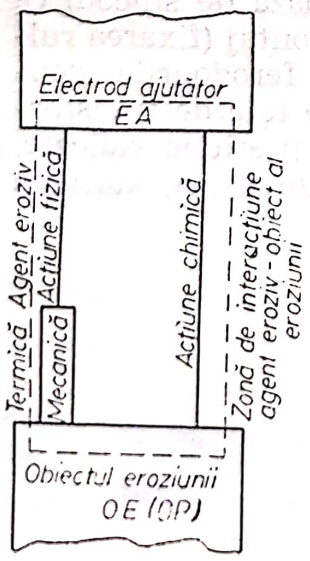


Fig. 9.1. Interacțiunea **EA–OE.**

Formele de eroziune de interes tehnologic (fig. 9.2) asigură o îndepărtare (prelevare) de material sub formă de particule mici care trebuie îndepărtate din spațiul de lucru.

Funcție de natura agentului eroziv distingem mai multe procedee.

9.1. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTRICĂ

Eroziunea electrică, bazată pe efectele erozive, discontinue și localizate a descărcărilor electrice prin impuls, amorsate repetat între *OP* și *EA* (fig. 9.3), are loc în condițiile conectării lor la sursa de energie electrică și separate de un dielectric. Între electrozi (*OP* și *EA*) apare descărcarea elec-

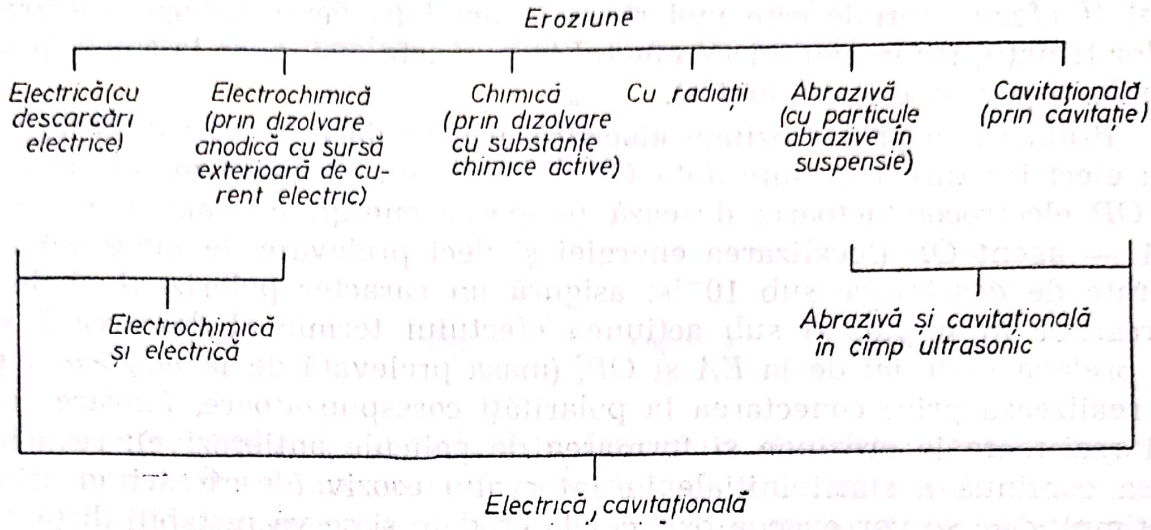


Fig. 9.2. Principalele forme de eroziune.

trică ce trece succesiv prin stadiile: luminiscență, scînteie, scînteie-arc și arc (fig. 9.4), în care se arată variația tensiunii și curentului în timp. În stadiul *I* *A—B* are loc la intensități ale cîmpului electric superioare rigidității dielectrice a mediului (care se distruge în salturi) și o cădere mare de tensiune între electrozi (10^2 V), curent mic, durată redusă (10^{-8} ... 10^{-7} s). Apare puntea conductoare care la trecerea curentului reduce valoarea rezistenței și puntea explodează, apare un canal filiform, ionizat, care permite trecerea unui curent puternic, canalul se încălzește — stadiul *II* tranzitoriu, nestabil sau descărcarea în scînteie *B—C* cu 10^{-6} s și cădere de 10^2 V. În stadiul *III* *C—D* (prelungit) se ajunge la 30 ... 35 V în timp de 10^{-4} s. În stadiul *IV* *D—E* sau arc nestaționar (cădere 30 V și 10^{-4} ... 10^{-5} s de la începutul descărcării) duce la stabilizarea diametrului canalului descărcării și intensității curentului. Descărcările electrice prin impuls au durata sub 10^{-1}.

În canalul filiform apar două componente ale curentului de descărcare: electronică cu sens catod-anod și ionică cu sens anod-catod. Datorită inegalității maselor $m_- < M_+$ reiese că $v_- > v_+$ și durata de parcurgere a interstițiului este mai redusă la electroni. De aici reiese că în timpi scurți, curentul electronic este superior celui ionic ca la timpi lungi să fie preponderentă componenta ionică. De aici rezultă că în sta-

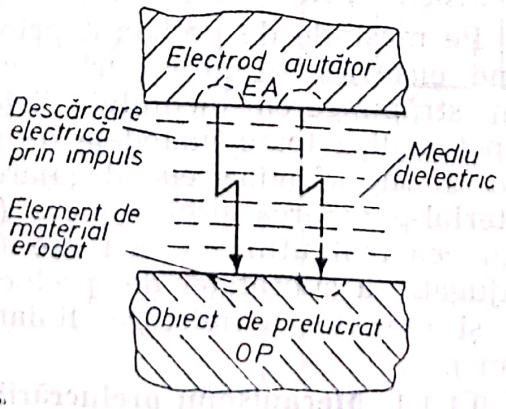


Fig. 9.3. Schema prelucrării prin eroziune electrică.

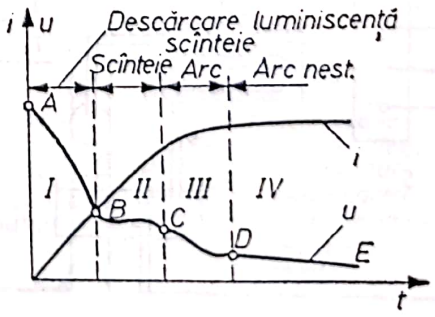


Fig. 9.4. Stadiile descărcării electrice.

Scanned with OKEN Scanner

diul *II* efectul termic este mai mare la anod (cedarea energiei electronilor frînaţi), iar în stadiul *IV* efectul termic este mai mare la catod (preponderenţa componentei ionice).

Prelucrarea prin eroziune electrică are loc dacă se: introduce energia electrică direct la suprafaţa *OP* — deci sînt necesare materiale *EA* şi *OP* electroconductoare; dozează temporar energii în impuls în zona *EA* — agent *OP* (localizarea energiei şi deci prelevare de material) cu durate de descărcare sub 10^{-1}s; asigură un caracter polarizant al descărcărilor în impuls şi sub acţiunea efectului termic al descărcării se va preleva material de la *EA* şi *OP*, (masa prelevată de la $m_{OP} > m_{EA}$ şi se realizează prin: conectarea la polarităţi corespunzătoare, folosirea de *EA* rezistente la eroziune şi formarea de pelicule antierozive); restabilirea continuă a stării iniţiale în intervalul eroziv (descărcări identice în timp), deci se vor evacua particulele erodate şi se va restabili distanţa de amorsare a descărcărilor.

Descărcările electrice se mai pot amorsa şi prin ruperea unui contact electric, parcurs de curent, între electrozi.

9.1.1. PRELUCRAREA CU DESCĂRCĂRI AMORSATE PRIN STRĂPUNGEREA UNUI MEDIU DIELECTRIC

Schema de principiu a unei maşini de acest gen (fig. 9.5) este compusă din *OP*—1, electronul *2* (între care există interstiţiul de 0,01 ... 0,05 mm, ocupat de dielectricul *3* din cuva *4*), conectate la generatorul de impulsuri de tensiune *5*, Descărcările electrice în impuls se amorsează în locul cu interstiţiul minim şi produc erodarea *OP* şi *EA*. Mediul dielectric trebuie să localizeze şi concentreze descărcările şi să răcească bine *OP* şi *EA*. După fiecare descărcare creşte interstiţiul, descărcarea se face pe altă porţiune etc. pînă cînd pe întreaga suprafaţă interstiţiul creşte şi (descărcarea nu are loc) interstiţiul se reface la valori de amorsare prin sistemul de reglare automată a avansului *6*. Produsele eroziunii se elimină pentru a nu forma zone de contact permanent — nu apar descărcări prin străpungere, prelevarea nu se localizează. Un rol important îl au proprietăţile hidrodinamice ale mediului dielectric *5* (petrol, ulei, benzină, apă distilată, gaze) ale cărui proprietăţi se restabilesc cu răcitorul *7*, în rezervorul *8*, filtrul *9* şi pompa *10*.

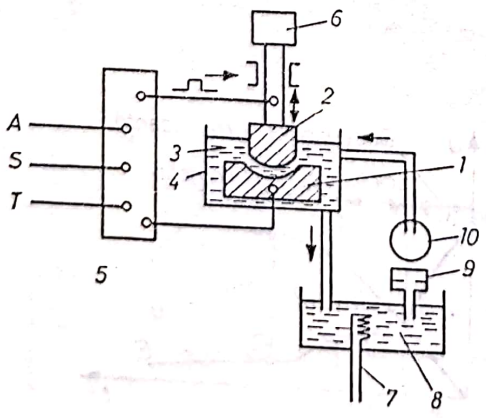


Fig. 9.5. Schema maşinii de prelucrat prin eroziune electrică.

Pe maşinile de prelucrat prin eroziune electrică în impulsuri amorsate prin străpungerea mediului dielectric se pot utiliza toate metodele de generare a suprafeţelor cu degajare de material-generarea prin copiere (80%) fiind cea mai utilizată (*EA* are forma conjugată a suprafeţei de prelucrat a OP şi execută o mişcare liniară de avans).

9.1.1.1. **Mecanismul prelucrării prin eroziune electrică.** Descărcările în impuls transformă energia electrică

în energii termică și mecanică, de ordinul $3 \cdot 10^4$ J/mm³ și putere 300 kW/mm³. La suprafața anodului energia de dislocare va fi:

$$E_{e-} = \frac{1}{2} \sum_{1}^{n} \cdot m v_{-}^{2},$$

iar la catod:

$$E_{Q+} = \frac{1}{2} \sum_{1}^{n} \cdot M v_{+}^{2},$$

energii care conduc la principalele fenomene (fig. 9.6): termic (topire, vaporizare de material), mecanic (bule de gaz în *OP* care expulzează particule), electrodinamic (rezistența sarcinilor electrice datorate cîmpului electromagnetic) care se completează reciproc.

Procesul termic are rol predominant, deci prelucrabilitatea se va caracteriza prin proprietățile termofizice — criteriul de proporționalitate π al lui Palatnik (a timpului de topire a unui volum de metal):

$$\pi = c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot T_t^2,$$

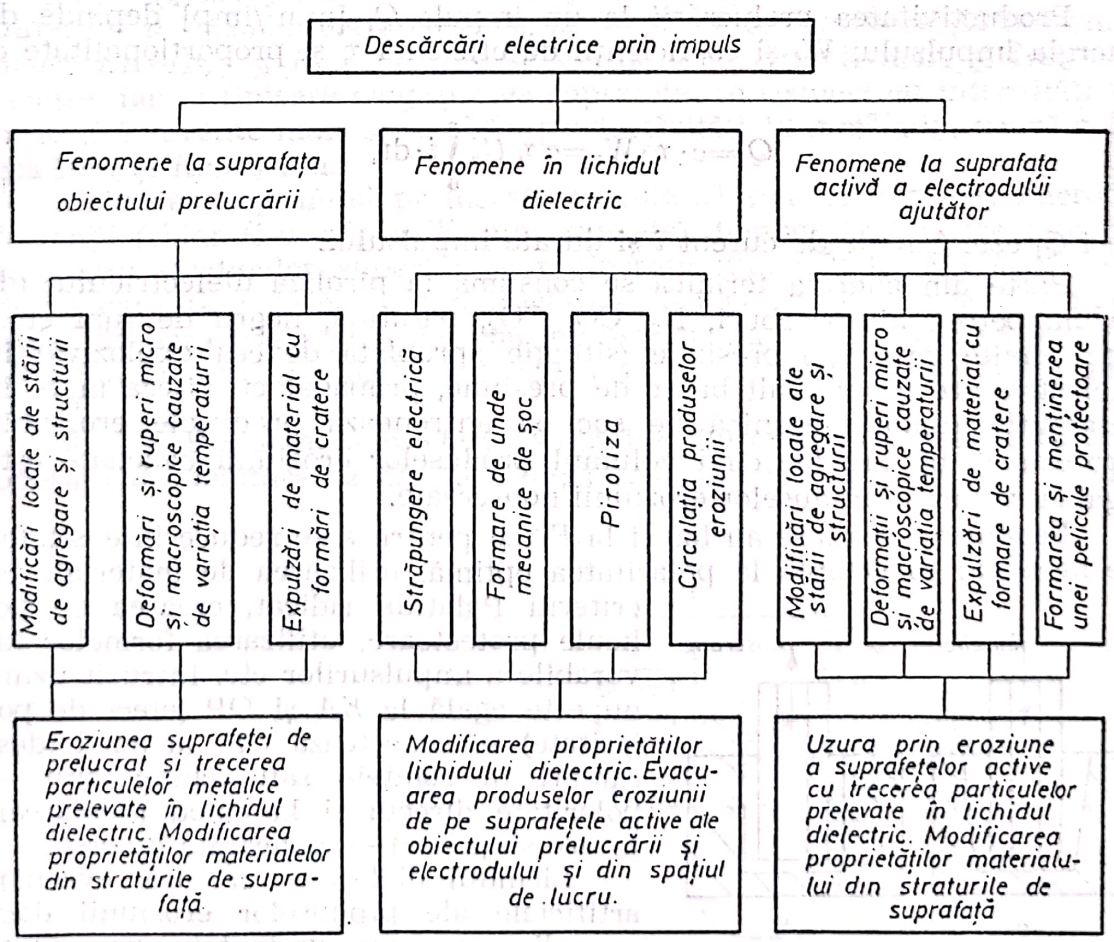


Fig. 9.6. Principalele fenomene fizico-chimico-mecanice la prelucrarea prin eroziune electrică.

Scanned with OKEN Scanner

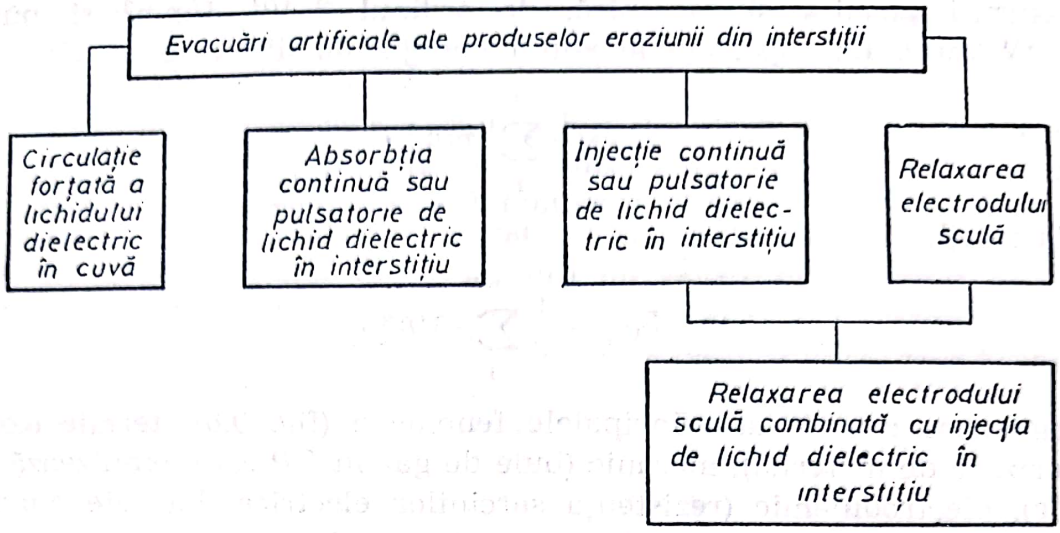


Fig. 9.7. Metode de evacuări artificiale a produselor eroziunii.

în care: c este căldura specifică; ρ — densitatea; λ — coeficient de conductivitate termică; T_t — temperatura de topire, în K.

Prelucrabilitatea prin eroziune electrică este invers proporțională cu criteriul lui Palatnik.

Productivitatea prelucrării la un impuls Q_i [mm³/imp] depinde de energia impulsului W_i și coeficienții de eficiență η și proporționalitate c:

$$Q_i = c \cdot \eta \cdot W_i = c\,\eta\,U_a \int_0^{t_i} i \cdot dt,$$

deci Q_i este funcție de curent i și durata impulsului.

Parte din energia termică se consumă la piroliza dielectricului (de regulă petrol, hidrocarburi, N_2, CO, CO_2, parafină, negru de fum etc.), apar multe gaze sub presiune (situație apropiată de cea explozivă) în dielectric are loc un salt brusc de presiune, propagat cu viteză mare în interstițiu (unda mecanică de șoc) și antrenează produsele eroziunii. Procesul stabil are loc cînd volumul produselor eroziunii evacuate este egal cu volumul produselor eroziunii nou-create.

Fenomene similare au loc și la *EA* și pentru a se reduce intensitatea ce necesită: conectarea la polaritatea optimă, utilizarea de materiale cu criteriu Palatnik ridicat, crearea de pelicule protectoare, utilizarea formelor favorabile a impulsurilor etc. Întrucît uzura nu este egală la *EA* și *OP* (efect de polaritate) se conectează *OP:* la anod (descărcări în scînteie sau scînteie-arc) — polaritate directă și la catod (descărcări în arc staționar) — polaritate inversă.

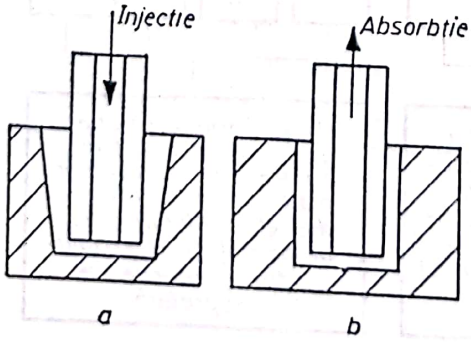


Fig. 9.8. Influența metodei de spălare.

Lichidul dielectric creează evacuări artificiale ale produselor eroziunii dacă se aplică una din variantele prezentate în figura 9.7. Prin aceasta crește și precizia prelucrării (fig. 9.8).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru mărirea productivității prelevării se mai utilizează: rotirea sau vibrarea electrodului, introducerea de energii suplimentare în spațiul de lucru, suprapresiuni, cîmpuri electromagnetice, evacuarea forțată a produselor eroziunii etc.

Se poate acționa și asupra numărului total de impulsuri N întrucît:

$$Q_i = \sum_{1}^{n} nc\,\eta W_i = Nc\,\eta W_i,$$

deci asupra frecvenței — f. Dar:

$$W_i = \frac{I_m U_m}{f},$$

în care I_m și U_m sînt valorile medii ale tensiunii pe interstițiu și curentului de lucru. Frecvența este limitată și de durata pauzei dintre impulsuri necesară deionizării canalului de descărcare (în caz contrar trece descărcarea din arc nestaționar în arc staționar-scurtcircuitări).

Întrucît calitatea suprafeței prelucrate depinde de înălțimea craterelor h ce iau naștere la descărcare prin impuls, iar:

$$h = C_{OP} W_i^p = C_{OP} \left(\frac{I_m U_m}{f}\right)^p,$$

în care: C_{OP} este coeficient cu valori 190 pentru OLC și Cu, 67 — aliaje dure, iar p=0,33 ... 0,4. Reiese că, la regimuri de degroșare (10^3mm^3/min, uzura $EA \cong 1\%$ și $R_a > 100$ μm) se va lucra cu curenți mari și frecvențe reduse, iar la finisare (rugozitatea suprafeței se reduce) cu intensități reduse și frecvențe mari și se obțin productivități 10 mm^3/min, uzură a EA cca 10% și Ra=8 μm.

Calitatea suprafeței prelucrate trebuie să țină cont și de: microdeformații (chiar fisurări, la W_i prea ridicate), temperaturile care modifică structura straturilor superficiale prelucrate (fig. 9.9) — SA (strat alb) de pe care s-au desprins particulele — SSA (substrat alb) și MB materialul de bază. De regulă SA conține martensită și perlită, SSA martensită, foarte dure și fragile și poate produce fisurări la suprafața prelucrată.

9.1.1.2. **Prelucrarea cu electrod ajutător filiform EAF.** Realizarea unor operații de debitare se pot face după schema (fig. 9.10), în care are loc

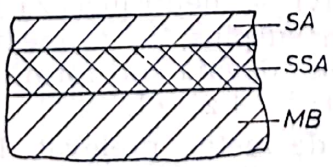


Fig. 9.9. Zonele OP.

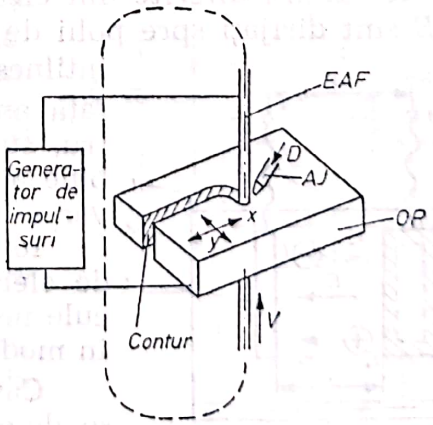


Fig. 9.10. Schema prelucrării cu EAF.

o mișcare relativă a *OP* și *EAF* după x și y. *EAF* (din Cu de $\varnothing \leqslant 0{,}03$ mm) execută mișcarea continuă cu v, iar dielectricul D se introduce prin ajutaj A_j în interstițiu.

9.1.2. PRELUCRAREA PRIN CONTACT

Prelucrarea prin eroziune electrică prin contact se bazează pe amorsarea descărcărilor în arc nestaționar prin ruperea contactelor electrice parcurse de curent, stabilite temporar între *EA* și *OP*. În timpul contactului temporar și a mișcărilor relative dintre electrozi se degajă căldură (efectul Joule-Lenz) preponderent la contactul microneregularităților, deci apar *descărcări în arc de rupere*. De aceea nu se pot genera suprafețe prin copiere. Prelevarea are loc (în stare plastică, topită sau vapori) datorită descărcării în arc nestaționar dar și acțiunilor mecanice și termice de pe suprafețele în contact. Procesul are loc la 22 ... 25 V, are o productivitate (10^5mm^3/min) și calitate slabă a suprafețelor prelucrate ($R_a \leqslant \leqslant 50$ μm) cu modificări structurale pe adîncimi apreciabile ale stratului superficial. La finisare se ating 50 mm^3/min și R_a=6,3 ... 12,5 μm.

Răcirea și rotirea *EA* permite și folosirea *c.a.* iar la aplicarea pînă la 20 V prelucrarea se poate face în aer, uzura este în acest caz redusă la *EA*, dar se obțin R_a=50 μm la *OP*. Față de alte procedee are un consum redus (1,4 ... 1,8 kWh/kg) și scade cu creșterea grosimii stratului prelevat. Metoda are însă o aplicabilitate mai redusă, datorită prezenței obligatorii a mișcării relative *EA* și *OP*.

9.2. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICĂ

Se bazează pe dizolvarea anodică a materialului *OP* (fig. 9.11) din cuva *1*, cu electrolitul *2*, catodul *3*, pelicula pasivă *4*, compușii insolubili *5*, unde sub acțiunea tensiunii U între anod-catod ia naștere cîmpul electric E dirijat de la anod la catod:

$$E = \frac{U}{1} \text{ [V/m]}.$$

Ionii de sarcini diferite din electrolit acționați de forțele din cîmpul electric E sînt dirijați spre polii de semn contrar. La anod ionii negativi întîlnesc pe cei pozitivi și rezultă pe suprafața anodului compusul chimic $M_e^+ I^-$ neutru, sub formă de peliculă pasivă care trebuie îndepărtată pentru a avea loc dizolvarea anodică.

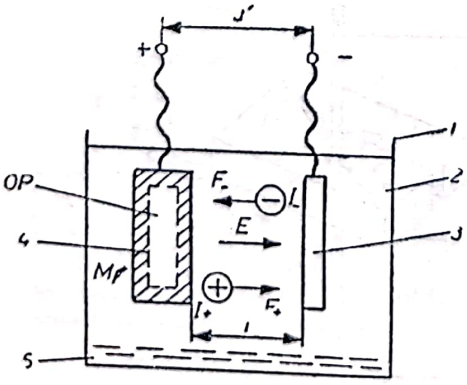


Fig. 9.11. Schema prelucrării electrochimice.

Ionii pozitivi se neutralizează la catod de electronii în surplus, se formează molecule neutre și se degajă sub formă de gaze, în mod obișnuit: $I^{z+} + z_e \rightarrow I$.

Cantitatea de metal prelevat la anod se determină după legile lui Faraday luîndu-se în considerare și fenomene secundare din electroliză.

Scanned with OKEN Scanner

Pelicula pasivă trebuie îndepărtată de la anod. După modul de îndepărtare prelucrarea electrochimică în mai multe variante.

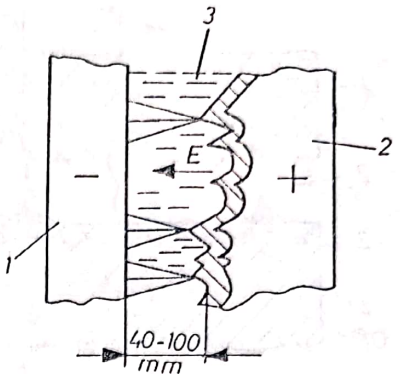


Fig. 9.12. Schema lustruirii electrochimice.

9.2.1. EROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ CU DEPASIVARE NATURALĂ

Are loc cînd produsele eroziunii se îndepărtează prin forțele degajărilor de gaze în procesul formării peliculei pasive și dizolvarea acesteia în electrolit. Se aplică la lustruirea, denumită și *lustruire electrochimică* (fig. 9.12) în care se disting: electrodul *1*, obiectul de lustruit *2*, electrolitul *3*. Se observă că pelicula este mai groasă în adîncituri astfel că se erodează mai repede asperitățile — concentrația mare de cîmp electric. Lustruirea se aplică la palete de turbină, țevi, scule, roți dințate, curățirea de oxizi, benzi, sîrme, platbande, piese etc.

9.2.2. EROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ CU DEPASIVARE ARTIFICIALĂ

Se poate face cu depasivare hidrodinamică (curent de electrolit) și abrazivă (acțiune mecanică).

9.2.2.1. **Depasivarea hidrodinamică.** Îndepărtează pelicula pasivă de pe anod prin introducerea sub presiune (7 . . . 30 daN/cm²) a electrolitului *4*, între *OP* și *EA*, cu viteze 30 . . . 50 m/s, figura 9.13, unde se disting: sursa de curent *1*, regulator de avans *2*, electrolitul *3*. Un debit mare de electrolit previne fenomenul de polarizare a electrozilor, încălzirea electrolitului și duce la creșterea productivității prelevării — limitată de valoarea curentului pentru nu a produce pierderea electrolitului. Precizia de prelucrare a *OP* depinde de precizia de prelucrare a *EA* — catodului — care ține cont de fenomenele secundare complexe din spațiul de lucru. Precizia și viteza de prelevare crește cu reducerea distanței *l*, dintre electrozi (de altfel aceste valori sînt superioare celor realizate prin alte procedee). Suprafețele obțin o calitate superioară, fără tensiuni superficiale, modificări structurale și microfisuri. Se aplică la materiale dure și extradure (găurire sau copiere) pentru fabricarea matrițelor, paletelor de turbine cu gaz și aburi etc. Nu se pot executa muchii ascuțite (*EA* sau *OP* i se pot imprima diferite mișcări).

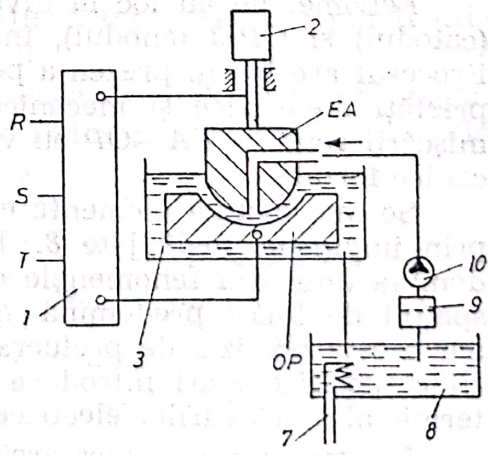


Fig. 9.13. Schema de eroziune electrochimică cu depasivare hidrodinamică.

9.2.2.2. **Depasivarea abrazivă.** Are loc concomitent cu eroziunea electrochimică, folosind o sculă abrazivă (fig. 9.14), în care se disting: scula abrazivă *1* (electroconductoare), electrolitul *2*, microasperități *3*, pelicula anodică *4*, granule abrazive *5*. Între

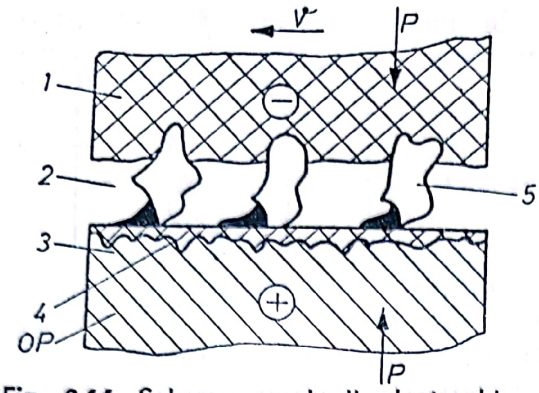


Fig. 9.14. Schema eroziunii electrochimice cu depasivare abrazivă.

electrozi se exercită presiunea P, iar EA catodul — execută o mișcare relativă (20—30 m/s) față de OP. Discul îndepărtează pelicula pasivă și produsele eroziunii și reactivează anodul, în special asperitățile *3*. Prin acest procedeu se obțin productivități mari (peste 500 mm³/min) cu R_a=0,05 ... 0,2 μm și o mare precizie de prelucrare, de aceea se aplică la: ascuțirea sculelor, honuirea și rectificarea electrochimică etc.

9.3. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE CHIMICĂ

Se bazează pe atacul cu substanțe chimic active pe suprafața OP (de preferat sodice) și sînt funcție de material și cantitatea de prelevat. Randamentul depinde de aceeași factori ca și la prelucrarea electrochimică, o influență mare avînd structura cristalografică (atacul are loc intergranular). Se aplică la gravarea de profile; la găurirea tablelor pe bază de Ni, Ti, W, Mo, în electrotehnică pentru circuite imprimate, diferite piese etc. Se îndepărtează straturi uniforme de pe piese complicate sau diferențiate. Părțile ce nu se erodează se acoperă înainte de imersare în soluție. Pentru aderență bună semifabricatele se spală, degresează, spală, usucă etc.

9.4. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE COMPLEXĂ

Procedeul de prelucrare prin eroziune complexă, electrică și electrochimică (anodo-mecanică), prelevează materialul prin acțiunea concomitentă a dizolvării anodice și descărcărilor electrice prin impulsuri, nedirijate, cvazistaționare (fig. 9.15).

Fenomenele au loc la nivelul microasperităților *1*, între EA sculă *2* (catodul) și OP-*3* (anodul), într-un electrolit *4*, cu proprietăți speciale. Procesul are loc în prezența peliculei pasivizatoare *5* (insolubile) cu proprietăți dielectrice și mecanice ridicate, a presiunii dintre electrozi și mișcării relative EA—OP cu viteza $v \geqslant 20$ m/s, în scopul depasivării mecanice forțate.

Se mai disting elemente erodate prin descărcări electrice *6* și *7*, sau prin impulsuri nedirijate *8*. Funcție de parametri electrici poate predomina unul din fenomenele de bază. Astfel, la puteri specifice mici în spațiul de lucru predomină dizolvarea anodică, productivitatea scade, dar crește precizia de prelucrare și calitatea suprafețelor. În cazul puterilor specifice mari introduse în spațiul de lucru, predomină procesul termic al descărcărilor electrice.

Efectele termice (descărcările au 10 000 K) produc descompunerea electrolitului și produsele prelevării și descompunerii formează pelicula pasivă *5*, care are grosimi diferite (sub acțiunea cîmpului electric) pe

Scanned with OKEN Scanner

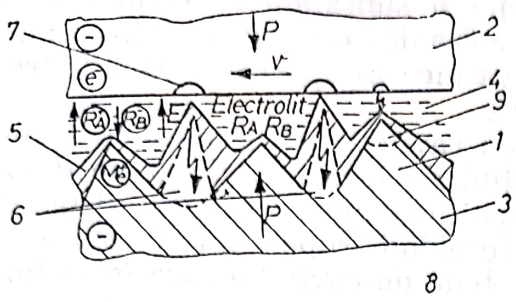


Fig. 9.15. Schema prelucrării prin eroziune complexă.

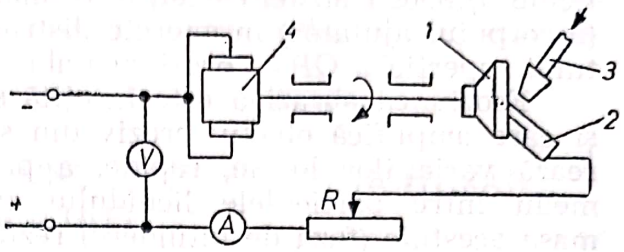


Fig. 9.16. Ascuţirea anodo-mecanică.

microneregularităţi (v. prel. electrochimică). Pelicula se rupe în principal la vîrfurile asperităţilor şi apar descărcări electrice: fie datorită efectului Joule (ruperea contactului de scurtcircuit metalic), fie datorită străpungerii spaţiului între două asperităţi vecine. Străpungerea are loc întrucît, tensiunea pe electrozi depăşeşte pe cea a spaţiului disruptiv (electrolit, pelicula, produsele eroziunii). Se poate preleva $8 \cdot 10^3$ mm^3/min. utilizînd 18 ... 30 V.

Eroziunea complexă se poate folosi pentru debitare (*EA* un disc sau bandă); ascuţire-rectificare (fig. 9.16) în care distingem scula-disc (OL, Cu etc.) *OP*-2, alimentarea cu electrolit *3*, şi profilări (calibre pentru cilindri de laminor) etc. Lichidele de lucru trebuie să împiedice scurtcircuitarea, să dea pelicule vîscoase sau solide (soluţii coloidale de silicat de sodiu sau aluminiu, caolin etc.).

9.5. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ABRAZIVĂ – CAVITAŢIONALĂ ÎN CÎMP ULTRASONIC

Fiind vibraţii acustice, ultrasunetele (unde ultrasonice — *UUS*) au frecvenţe superioare celor auditive şi inferioare hipersunetelor (16 KHz$<$f$<$10 000 MHz) şi datorită proprietăţilor pe care le posedă (lungime de undă mică, reflexie, refracţie, transportoare de energii în mediile elastice în care se pot propaga, difuzie încălzire etc.) pot fi utilizate în cele mai diverse domenii ale tehnicii.

După direcţia particulelor mediului elastic, *UUS* se pot propaga: longitudinal (gaze şi lichide cu viscozitate redusă); transversale — cele cu viscozitate ridicată, ca în solide să poată fi transmise toate tipurile; *UUS* au ca principale caracteristici: frecvenţă — *f*, lungime de undă — λ, amplitudine şi propagare.

Proprietăţile specifice ale *UUS* le fac apte şi la prelucrarea erozivă (fig. 9.17), abrazivo-cavitaţională *1* (materiale dure şi fragile în special), prin transmiterea energiei cinetice a corpului ajutător *2* (ce vibrează cu frecvenţa *UUS*), particulelor abrazive *3*, în suspensie în lichidul *4*.

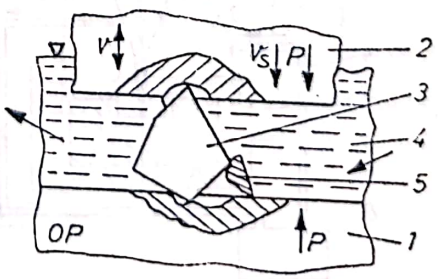


Fig. 9.17. Prelucrarea abrazivă-cavitaţională cu UUS.

Aceste particule desprind (prin șoc) din suprafața *OP*-1 mici particule *5*, deci transferă energia primară mecanică de vibrație ultrasonică (a corpului ajutător) în energie distructivă mecanică, termică etc. a stratului superficial *OP* — eroziunea abrazivă.

Eroziunea abrazivă este însoțită și de cavitația ultrasonică în lichid și care amplifică efectul eroziv din spațiul de lucru. Cavitația se datorează variațiilor locale, rapide, a presiunii cu modificări ale distanței medii între particulele lichidului condiționînd ruperi microscopice în masa acestuia (faza de întindere) rezultă bule de cavitație care (prin implozie) produc unde de șoc de presiuni și temperaturi ridicate. Fenomenul este ajutat de presiunile acustice locale și neomogenitatea lichidului.

Particulele abrazive vor avea duritatea cel puțin egală cu a *OP* (pulberi din carburi metalice dure). Se vor evacua împreună cu particulele erodate și se vor înlocui cu altele cu muchii ascuțite (periodic). Mărirea efectului de șoc a abrazivului se face prin crearea presiunii de 0,5—4 daN/cm^2.

9.5.1. UTILAJE DE PRELUCRAT ABRAZIVO-CAVITAȚIONAL

Mașinile de prelucrat prin eroziune abrazivo-cavitațională (fig. 9.18) în cîmp ultrasonic conțin generatorul *1* de înaltă frecvență *(GIF)*, care alimentează cu curent de înaltă frecvență — *CIF* (f=15 ... 30 KHz și putere 0,1 ... 10 kW) transductorul ultrasonic *2*, care transformă energia cîmpului electric, variabil (prin efect magnetostrictiv) în energie mecanică (radiantă) de vibrație ultrasonică. Vibrațiile ultrasonice se transmit transformatorului ultrasonic *3* care mărește amplitudinea vibrațiilor și concentrează energia care se transmite particulelor abrazive prin corpul (capul) ajutător *4*. Elementele magnetostrictive se răcesc cu apă, pentru a nu scădea proprietățile magnetostrictive și viteza de propagare a *UUS*, iar f se limitează pentru a nu crește pierderile prin histerezis și curenți turbionari. În cazul tolelor de Ni și permedur (aliaje Co+Fe) se utilizează f=18 ... 30 KHz, iar, mai nou, pentru ferite și materiale ceramice f=18 ... 100 KHz.

Elementele *2* și *3* sînt dimensionate în așa fel încît frecvența proprie de oscilație să fie egală cu frecvența aplicată pentru a obține regim de rezonanță și deci la corpul ajutător amplitudini maxime. Concentrația volumică optimă a particulelor abrazive, se obține cînd există un singur strat între *4* și *OP*-*5*. Mecanismul de avans *6* asigură presiunea statică și deci forța de șoc. Particulele abrazive din cuva 7, trec în rezervorul *8* prevăzut și cu instalația de recirculare și filtrare a abrazivului.

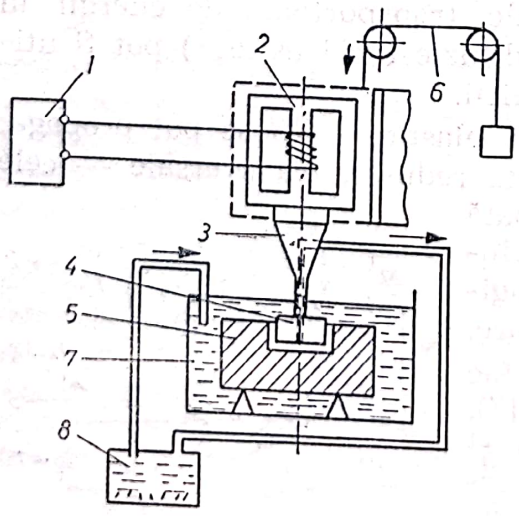


Fig. 9.18. Schema mașinii de prelucrat cu UUS.

Prelucrarea erozivă cu UUS se poate face și la materialele nemetalice, de asemenea greu sau imposibil de prelucrat prin metode convenționale (sticlă, cuarț, ceramică, ferite etc.). Cu cît fragilitatea *OP* este mai mare cu atît prelucrabilitatea este mai bună.

Scanned with OKEN Scanner

Operații principale de prelucrare prin eroziune cu *UUS* distingem: găurire, retezare, canelare, rectificare, filetare, profilare etc. aplicate în special pe materiale greu sau imposibil de prelucrat prin metode convenționale.

9.6. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE CU ENERGII CONCENTRATE (FASCICULE)

Sursele de energii concentrate (plasma, radiațiile electromagnetice sau corpusculare) concentrate în pată focală (densități mari de energie) generează local surse de temperaturi înalte ce pot prelucra orice material sub aspectul proprietăților fizico-chimico-mecanice.

9.6.1. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE CU PLASMĂ (JET)

Jetul de gaze (gaz) puternic ionizat (compus din molecule, atomi, ioni, electroni) electric cvazineutru se numește *plasmă*. Plasma posedă conductivitate electrică mare și este o sursă de radiație electromagnetice cu spectru larg — infraroșu, vizibil și ultraviolet. Temperatura plasmei poate avea temperaturi ale mediului ambiant (descărcările în gaze rarefiate din tuburi) sau milioane grade (plasma nucleară). În construcția de mașini se utilizează plasma cu $(20 \ldots 30) \cdot 10^3$ K ce se obține în coloana arcului electric și care prin comprimare radială obține temperaturi ridicate.

Plasma se realizează în generatoare (plasmatroane) în care coloana arcului electric *AE-1* este obligată, sub acțiunea jetului de gaz *2*, să treacă prin spațiul limitat (comprimare radială) al duzei *3* (fig. 9.19) cu pereți dubli pentru a se răci cu apă *4*. În acest fel energia se concentrează în zona axială a coloanei din cauza răcirii la periferie (duza) și deci deionizării (reducerii conductivității electrice), ceea ce determină creșterea densității de curent în zona centrală. Acest fenomen conduce la creșterea forțelor electromagnetice în secțiunea transversală care ajută creșterii constricției radiale. Stratul mărginaș al coloanei arcului electric (în duză) se comportă ca un ecran termic și electric și asigură men-

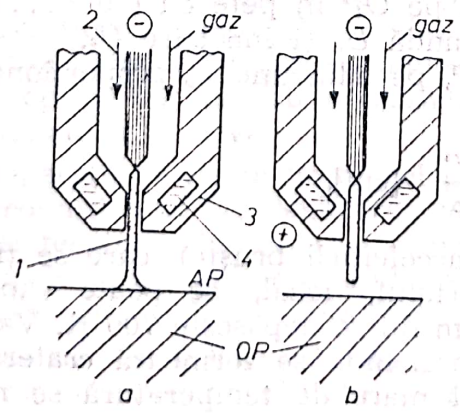


Fig. 9.19. Generatoare cu plasmă:
a – directe AP; b – indirecte IP

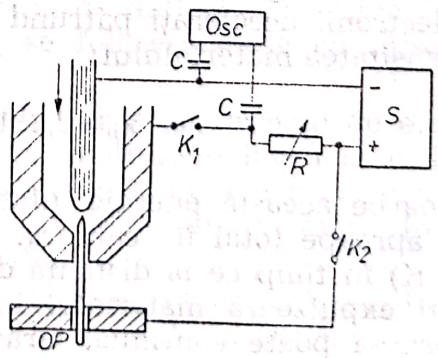


Fig. 9.20. Instalație de prelucrat cu plasmă.

ținerea ridicată a temperaturii în zona centrală (pentru concentrare în continuare se poate utiliza cîmp magnetic exterior).

După modul realizării arcului electric se disting plasmotroane directe — *a*, sau arc de plasmă (în acest caz *OP* este bun conducător de electricitate) și indirecte — *b*, sau jet de plasmă *JP*.

9.6.1.1. **Utilaje de prelucrat dimensional cu plasmă.** Aceste utilaje (fig. 9.20) conțin: generatorul de plasmă, sursa de energie electrică *S*, oscilator amorsare descărcare *OSC*, condensatoare de cuplare *C*, întreruptoare *K*, dispozitive de deplasare pentru generarea suprafețelor etc. Sursele de energie pot avea $1 \ldots 10^2$ KW, la $200 \ldots 250$ V (convertizoare de sudare legate în serie sau redresoare cu semiconductori). Gazele monoatomice asigură o stabilitate mare a arcului de plasmă și durabilitate duzei (Ar, He) cele biatomice un transfer mare de căldură. (H_2, N_2) — se descompun în coloana arcului și se recombină la *OP* (cu degajare de căldură).

Prelucrarea cu plasmă se aplică de regulă la tăiere, cilindrare și filetare exterioară etc. La tăierea de grosimi sub 10 mm se folosește *JP*, iar la $s>10$ mm *AP*. Operația se aplică la orice material dar se preferă la oțeluri inoxidabile, aluminiu și aliajele sale etc. Calitatea tăieturii este net superioară celei cu flacără de gaze. Viteza de tăiere este 1,2 m/min, la o zonă *ZIT* sub 1 mm.

9.6.2. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE CU RADIAȚII

Procedeele utilizate la prelucrarea dimensională sînt cele cu fascicule de: electroni, ioni și fotoni.

9.6.2.1. **Cu fascicul de electroni.** Se folosesc fascicule de electroni *(f·e)* cu densitate și energii cinetice mari, accelerați, comandați și focalizați pe suprafața *OP*, procese ce au loc în spațiul vidat — *C·V* (fig. 9.21). Electronii produși de catodul *1* prin emisie termoelectronică sînt conduși prin electrodul de comandă *2* și orificiul anodului *3*, astfel încît străbat diferența de potențial *U* și preiau de la cîmpul electric o energie cinetică:

$$n \cdot e \cdot U = n \frac{m \cdot v^2}{2} \quad [\text{J}],$$

în care: n — numărul electronilor. Fasciculul este focalizat de lentilele electromagnetice *4* de focalizare scurtă pe *OP* în pete cu $(10^{-2} \ldots 10^{-3})$ mm. Mai distingem: tensiunile de comandă U_c și încălzire U_i.

Electronii accelerați pătrund în *OP*, pe adîncime $\varkappa_p$ proporțional cu *U* și densitatea materialului:

$$\varkappa_p = 2{,}2 \cdot 10^{-12} \frac{U^2}{\rho} \quad [\text{cm}],$$

și absoarbe această energie (datorită accelerării bruște) care se transformă aproape total în căldură. Materialul, local, se poate vaporiza (6 000 K) în timp ce la distanță de 1 μm nu se depășește 700 K. Vaporii formați expulzează materialul în stare lichidă se formează craterul și prelucrarea poate continua. Gradientul mare de temperatură se realizează prin conectarea periodică a fasciculului în impulsuri mici $(10^{-6} \ldots 10^{-4}$s) și frecvențe ridicate $(10^2 \ldots 10^4$ Hz), încît succesiunea de impulsuri creează noi cratere de eroziune pînă la străpungerea completă

Scanned with OKEN Scanner

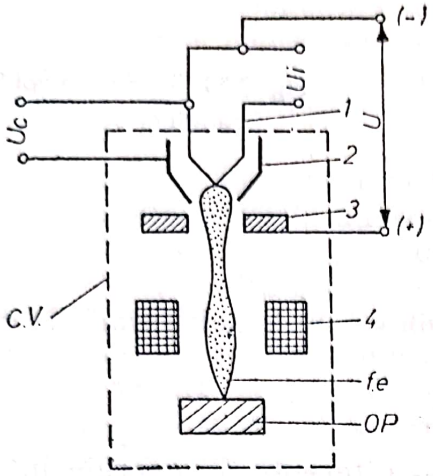


Fig. 9.21. Principiul generării fasciculului de electroni.

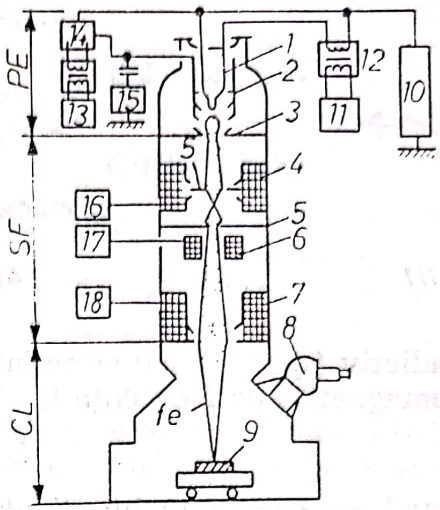


Fig. 9.22. Instalația cu fascicul de electroni.

a stratului de prelucrat din *OP*. Încălzirea-răcirea instantanee determină formarea unei *ZIT* redusă.

Indiferent de tipul constructiv, instalațiile de prelucrat dimensional (fig. 9.22) folosind energia fasciculului de electroni se compun din:

— *Sistemul electrono-optic* cu rol de generare și accelerare a fasciculului de electroni cu ajutorul proiectorului de electroni *PE* și de a-l focaliza prin sistemul de focalizare *SF*, compus din lentile electromagnetice (diafragme *5*, stigmator *6*, lentilă focalizare lungă *7*).

— *Alimentare* cu energie electrică se face separat de la surse: *10* — de înaltă tensiune, *11* — de încălzire a catodului, *12* — transformatoare, *13* — de negativare a electrodului de comandă, *14* — redresor, *15* — modelator cu condensator de cuplare, *16* și *18* — stabilizatoare de curent (alimentare lentile focalizare) și *17* — stabilizator pentru alimentarea stigmatorului.

— *Sisteme de vidare* (camera de lucru *CL* cu microscop *8*) în trepte (vid preliminar — pompe cu palete; vid înaintat — pompe de difuzie cu lichid) trebuie să asigure un vid de $1{,}4 \cdot 10^{-8}$ N/m² pentru a nu dispersa fasciculul și să nu apară produse de ionizare.

— *Dispozitive auxiliare* în principal cele care realizează deplasarea relativă între fascicul și *OP:* deplasări pînă la 6 mm se pot efectua prin devierea fasciculului (se introduce o bobină de deflecție în sistemul electrono-optic); iar pentru deplasări mari se folosesc mese cu mișcări în coordonate și rotative.

Operații realizate de obicei prin prelucrarea cu fascicul de electroni sînt condiționate de realizarea vidului în spațiul de lucru și utilizarea înaltei tensiuni, de aceea se utilizează la piese și orificii miniaturale din materiale greu sau imposibil de prelucrat prin alte metode. În cazul deplasărilor rapide se poate realiza un orificiu/s.

9.6.2.2. **Cu fascicul de fotoni.** Fasciculele de fotoni realizate în generatoare cuantice de radiații — *LASER* — lumină amplificată prin stimularea emisiei de radiații. Generatoarele optice de cuante funcționează pe principiul: se absoarbe energia de către un mediu activ după care se emite sub formă de radiație stimulată. Cînd dezexcitarea unui sistem se

Scanned with OKEN Scanner

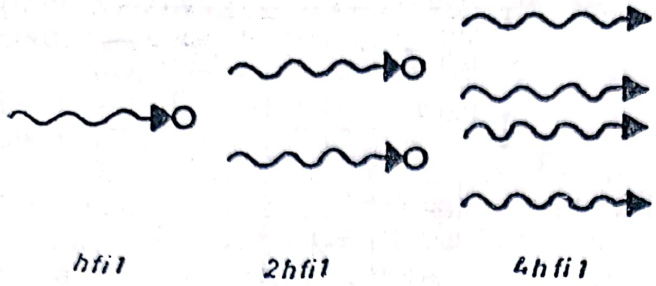


Fig. 9.23. Schema amplificării radiației stimulate.

face radiativ (spontan sau stimulat) energia se emite sub formă de cuantă electromagnetică de frecvență f:

$$h f = \Delta E,$$

în care: h — constanta lui Plank; ΔE — diferența de energie între nivelele de tranziție. Undele electromagnetice pot interacționa cu un sistem atomic în două moduri: absorbția de radiație — se produce excitarea sistemului sau emisia stimulată de radiație — la dezexcitarea unui sistem excitat, care interacționează cu o cuantă de energie indidentă de frecvență egală cu cea a cuantei de dezexcitare. Prin crearea de condiții speciale este posibilă amplificarea radiației stimulate: cei doi factori rezultați printr-o emisie (între nivelele *i* și *1* de ex.) putînd stimula încă două sisteme atomice de pe nivelul *i* și rezultă patru fotoni stimulatori, apoi opt etc. — serie geometrică (fig. 9.23).

Instalațiile laser conțin ca principale elemente (fig. 9.24):

— *Sistemul de excitație,* format din sursa de alimentare cu energie electrică și sursa de excitație. Cele mai răspîndite surse de alimentare cu energie electrică sînt: cu acumulare de energie în condensatori de capacitate mare (circa 1 000 μF) la o tensiune înaltă (de ordinul 10 kV) pentru laseri solizi care funcționează în impuls; cu redresori pentru intensități mari de curent (puteri de zeci de kW) pentru laseri solizi cu funcționare continuă; cu generatoare de tensiune continuă sau alternativă de înaltă frecvență (20 . . . 30 MHz) pentru laseri cu gaz funcționînd în regim continuu sau pulsat.

Ca surse de excitație optică se utilizează de obicei lămpi cu descărcări în gaze. Pentru realizarea pompajului este absorbită numai o can-

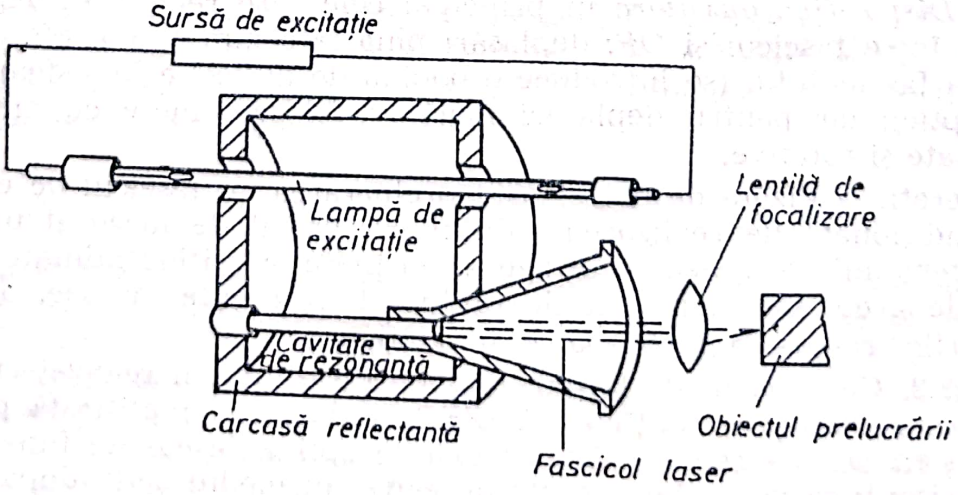


Fig. 9.24. Schema laserului cu cristal de rubin.

titate foarte mică de energie dezvoltată de sursa de excitație (0,01 ... ... 0,2%), restul consumîndu-se pentru încălzirea puternică a mediului activ. Din această cauză cele mai multe surse lucrează în impulsuri de scurtă durată și sînt plasate în carcase reflectante într-o astfel de geometrie încît să concentreze o cantitate cît mai mare de lumină asupra mediului activ;

— *Cavitatea de rezonanță* cu mediul activ. În afară de rezonatorii cu oglinzi plane paralele au fost realizate multe alte tipuri constructive de cavități de rezonanță (cu două oglinzi sferice confocale cu focar comun și raze de curbură comună egală cu distanța dintre ele, cu suprafețe prismatice cu reflecție totală etc.). Drept mediu activ se utilizează o gamă foarte largă de materiale solide (de exemplu rubin sintetic — ca material suport — impurificat cu Cr^{+++}), semiconductoare (GaAs, InP etc.), lichide (EuB_3 în alcool cu ionul activ Eu^{+++}), gazoase (He—Ne, Ne—O_2, Hg, Hg—Ne etc.);

— *Sistemul optic de focalizare*. Focalizarea se bazează pe proprietățile de reflecție și refracție a fasciculului laser. Uzual se utilizează lentile și oglinzi sferice, care se aleg în funcție de lungimea de undă a fasciculului astfel încît pierderile în sistemul de focalizare să fie minime.

Intensitatea radiației în pata focalizată nu este constantă, ea este maximă în centrul petei și scade cu creșterea razei acesteia. Convențional, se consideră diametrul petei egal cu dublul distanței de la axa fasciculului pînă la zona unde intensitatea radiației este 1/8 din valoarea maximă;

— *Sistemul de răcire*. Calitatea emisiunii laser (în special monocromaticitatea) depinde în mod esențial de temperatura cavității de rezonanță. De aceea foarte mulți laseri cu mediu solid și cu semiconductoare sînt construiți să funcționeze la temperaturi scăzute fiind răciți cu circuite de gaze lichefiate. Pentru prelucrări tehnologice se preferă instalațiile răcite cu apă care funcționează la temperatura mediului ambiant.

Prelucrarea cu lasere prezintă particularitățile:

— În zona de interacțiune a fasciculului de fotoni focalizat cu *OP* se pot atinge valori a temperaturii (pînă la 18 000 K) capabile să topească și să vaporizeze orice material existent;

— Este posibilă prelucrarea de la distanță, fasciculul de fotoni putînd fi transmis direct sau reflectat cu aparatură optică simplă. Absorbția fasciculului în aer sau în alte gaze este neglijabilă;

— Se pot efectua prin medii transparente asupra unor piese înglobate în aceste medii sau prin ferestre transparente în cameră cu atmosferă controlată, în vacuum, la orice presiune etc.;

— Asupra materialului de prelucrat fasciculul acționează practic fără impuls mecanic;

— Fasciculul nefiind deviat în cîmpuri electrice și magnetice, se pot prelucra materiale în stare de magnetizare sau plasate în cîmpuri magnetice și electrice importante;

— Sursa de căldură este foarte precisă, de intensitate mare și durată scurtă, putîndu-se prelucra pelicule subțiri (0,1 ... 0,5 μm) fără distrugerea bazei pe care au fost depuse. Zona influențată termic este foarte mică (de circa 10 ori mai mică decît prelucrarea cu fascicul de electroni). Datorită gradientului foarte mare de temperatură prelucrarea se poate face în apropierea unor elemente termosensibile, fără a le afecta pe acestea;

Scanned with OKEN Scanner

— Fasciculul este reflectat și de obiectul prelucrării în proporție de 20 . . . 90% în funcție de natura materialului și starea suprafeței. Capacitatea de reflecție a obiectului este maximă la începutul operației, ceea ce impune măsuri speciale (acoperiri fine antireflectante pe obiect sau schimbarea intensității fasciculului în timpul operației).

Toate aceste particularități arată că prelucrarea cu laseri este economică la executarea orificiilor și canalelor cu diametre respectiv lățimi mai mici de 0,5 mm, cînd alte metode nu se pot aplica sau sînt mai costisitoare.

Prelucrabilitatea cu fascicul de fotoni este condiționată în mare măsură de constantele termofizice ale materialului. La prelucrările cu îndepărtare de material, regimul de prelucrare trebuie condus astfel încît temperatura zonei de interacțiune fascicul-obiect să fie mai mare decît temperatura de vaporizare. În general se prelucrează ușor materialele care au o diferență mică între temperatura de topire și de vaporizare (de exemplu Cr, Ta). Greu de prelucrat sînt metalele cu un grad de reflecție ridicat și cu o conductivitate termică bună (ex. W, Mo). Aluminiul avînd o căldură specifică mare, se prelucrează de asemenea greu. Oțelurile aliate se prelucrează ușor datorită conductivității termice mici. *Operațiile de prelucrare* cu fascicul de fotoni se pot clasifica în următoarele grupe principale: găurire, tăiere, prelucrarea de canale și trasare de reticule.

9.6.2.3. **Cu fascicul de ioni.** Prelucrarea cu fascicul de ioni se bazează pe fenomenul de dispersie catodică ce apare la descompunerea descărcărilor gazoase.

Electronii emiși de catod ionizează moleculele de gaz și acești ioni se accelerează de un cîmp electric puternic și se focalizează într-un con îngust, vîrful căruia să coincidă cu locul suprafeței *OP*. Metoda se utilizează preponderent pentru găurirea străpunsă (de la 5 μm în sus) în materiale subțiri cît și pentru găurirea în diamant. Timpul de prelucrare cu fascicul de ioni este mai mare decît la celelalte metode de prelucrare dimensională cu fascicule, consumul de energie este însă mai redus.

Scanned with OKEN Scanner

10

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN AȘCHIERE ȘI MAȘINI-UNELTE

10.1. ELEMENTE DE TEORIA AȘCHIERII

10.1.1. NOȚIUNI ȘI DEFINIȚII

În timpul așchierii se obține modificarea formei și dimensiunilor unor corpuri, în general metalice, prin detașarea surplusului de material sub formă de așchii, în scopul obținerii unor suprafețe cu anumite configurații într-un cîmp de toleranță dat cu o rugozitate impusă. Corpurile care suferă modificări de formă poartă denumirea de piese sau semifabricate, iar surplusul de material, denumit și adaos de prelucrare, se îndepărtează sub formă de așchii cu ajutorul unor scule așchietoare, în timp ce între piesă și sculă există o mișcare relativă impusă, numită mișcare de așchiere. Din cele de mai sus rezultă că la realizarea unui proces tehnologic de așchiere concură patru factori: piesa, mișcarea de așchiere, scula și așchia.

10.1.1.1. **Piesa.** Piesele pot avea cele mai variate forme, de la cele mai simple pînă la cele mai complexe, în funcție de scopul funcțional al acestora. În paragraful de față se definesc doar acele elemente ale piesei care prezintă importanță în timpul detașării așchiei (fig. 10.1).

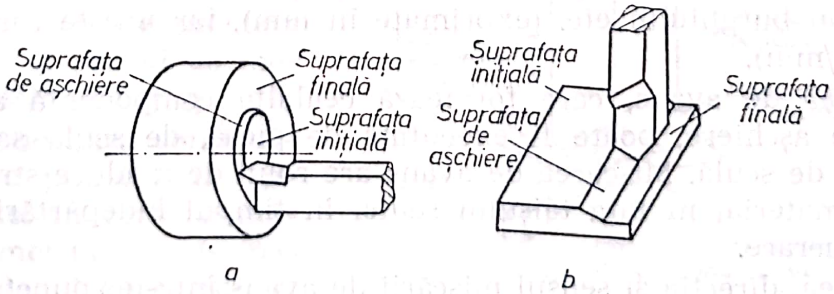


Fig. 10.1. Suprafețele piesei.

Scanned with OKEN Scanner

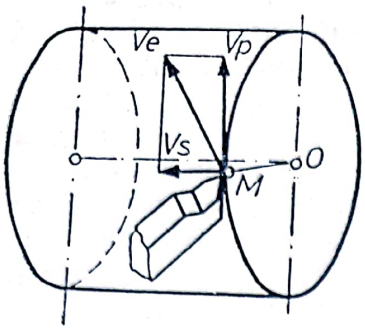


Fig. 10.2. Vitezele relative în procesul de așchiere.

Suprafața semifabricatului, adică suprafața piesei înainte de prelucrare, poartă denumirea de *suprafață inițială,* iar cea rezultată după prelucrare se numește *suprafață finală* sau suprafață prelucrată și în fine suprafața piesei care se află în contact cu tăișul sculei în timpul prelucrării este *suprafața de așchiere.*

10.1.1.2. **Mișcarea de așchiere.** Îndepărtarea adaosului de prelucrare, respectiv generarea suprafeței finale a piesei, necesită realizarea unei mișcări relative între piesă și sculă denumită *mișcare efectivă de așchiere.*

În scopul ușurării înțelegerii fenomenelor se consideră că piesa este în stare de repaus, iar scula execută toate mișcările necesare generării suprafeței (în așa fel ca mișcarea relativă între piesă și sculă să rămînă aceeași).

Mărimea, direcția și sensul mișcării efective de așchiere pot fi puse în evidență printr-un vector tangent la traiectoria mișcării efective de așchiere în punctul de contact dintre piesă și sculă, denumită *viteză efectivă de așchiere,* notată cu V_e (fig. 10.2).

Mișcarea efectivă de așchiere este o mișcare compusă din *mișcarea principală de așchiere* și *mișcarea de avans* (numită și mișcarea secundară).

Mișcarea principală de așchiere, care consumă partea cea mai mare a puterii necesare detașării așchiilor, este realizată de mecanismul mișcării principale (cutia de viteză) a mașinii-unelte.

Direcția, sensul și mărimea mișcării principale de așchiere se reprezintă prin vectorul V_p, tangent la traiectoria mișcării principale de așchiere în punctul de contact dintre piesă și sculă (fig. 10.2) numit *viteză principală de așchiere.*

În cazul în care mișcarea principală este rectilinie, direcția ei coincide cu direcția de deplasare a elementului care execută mișcarea principală de așchiere, iar viteza principală de așchiere este egală cu viteza de deplasare a elementului mobil.

Dacă mișcarea principală este de rotație, viteza principală de așchiere este egală cu viteza periferică a elementului care execută mișcarea de rotație, calculîndu-se cu relația:

$$V_p = \frac{\pi D n}{1\,000} \quad [\text{m/min}], \qquad (10.1)$$

în care D este diametrul piesei care se prelucrează, diametrul exterior al frezei sau burghiului etc. (exprimate în mm), iar n este turația acestora (în rot/min).

Mișcarea de avans, care formează cealaltă componentă a mișcării efective de așchiere, poate fi executată de piesă, de sculă sau atît de piesă cît și de sculă. Mișcarea de avans are rolul de a aduce straturi succesive de material în fața tăișului sculei în timpul îndepărtării adaosului de prelucrare.

Mărimea, direcția și sensul mișcării de avans într-un punct al traiectoriei se reprezintă prin *vectorul viteză de avans* V_s (fig. 10.2).

Scanned with OKEN Scanner

Considerînd strunjirea și acceptînd că avansul este s mm/rot, viteza de avans se calculează cu relația:

$$V_s = \frac{s \cdot n}{1\,000} \quad [\text{m/min}]. \qquad (10.2)$$

Rezultă în baza celor expuse mai sus că viteza efectivă de așchiere este suma vectorială dintre viteza principală de așchiere și viteza de avans: $\overline{V}_e = \overline{V}_p + \overline{V}_s$.

În marea majoritate a cazurilor viteza de avans V_s are o valoare mică în raport cu viteza principală de așchiere V_p din care motiv în practică se poate neglija V_s în raport cu V_p și se consideră că viteza efectivă de așchiere este egală cu viteza principală de așchiere.

10.1.1.3. **Scula.** Marea varietate a pieselor întîlnite în industria constructoare de mașini, condițiile tehnice impuse acestor piese, precum și modalitatea prelucrării acestora în condiții cît mai economice, au condus la crearea diferitelor procedee de prelucrare prin așchiere. Diversitatea mare a formelor și dimensiunilor pieselor supuse prelucrării reclamă o mare varietate de scule așchietoare ale căror tăișuri au însă elemente comune, la toate sculele îndepărtarea așchiilor realizîndu-se prin efectul de pană.

Întrucît la toate sculele așchietoare se întîlnesc aceleași elemente geometrice, acestea se definesc pentru cuțitul de strung, care stă la baza tuturor sculelor așchietoare (fig. 10.3).

Suprafețele și tăișurile sculei pot ocupa diferite poziții relative în spațiu, care se definesc prin unghiurile pe care le face cu axele sau planele unui sistem de referință triortogonal drept. Aceste unghiuri pot fi indicate în raport cu *sistemul de referință constructiv* sau în raport cu *sistemul de referință funcțional*.

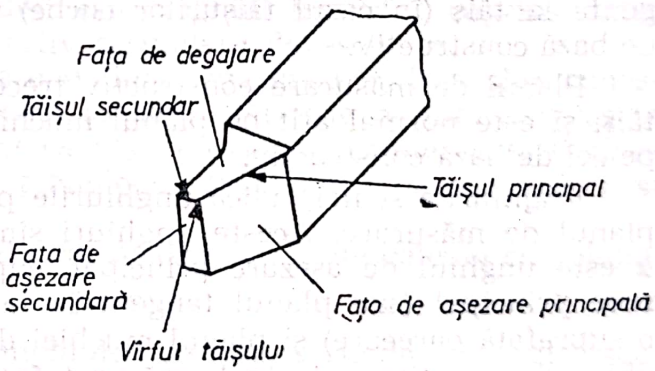


Fig. 10.3. Elementele cuțitului de strung.

În raport cu sistemul de referință constructiv, numit și sistemul de referință al sculei, se indică unghiurile necesare confecționării, ascuțirii și verificării geometriei părții active a sculei așchietoare. Sistemul de referință constructiv este format din *planul de bază constructiv*, *planul muchiei de așchiere constructiv* și *planul de măsurare constructiv* (fig. 10.4).

Planul de bază constructiv conține punctul de pe tăișul sculei în care se măsoară geometria și este paralel cu planul de sprijin al sculei.

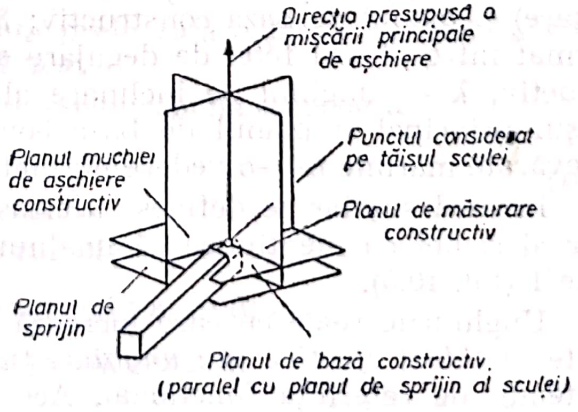


Fig. 10.4. Sistemul de referință constructiv.

Scanned with OKEN Scanner

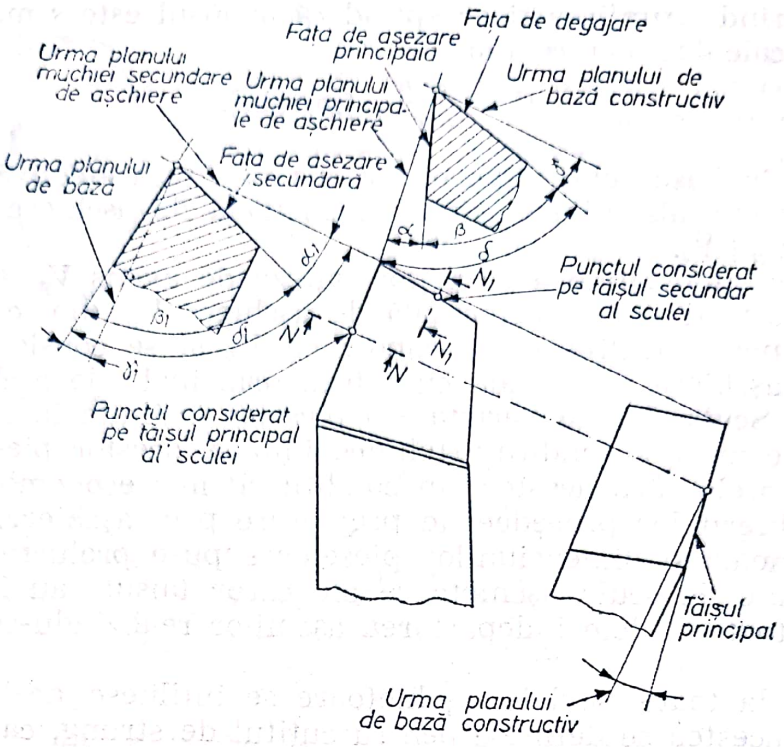


Fig. 10.5. Unghiurile constructive ale cuțitului de strung.

Planul muchiei de așchiere constructiv conține tăișul sculei sau tangenta la tăiș (în cazul tăișurilor curbe) și este perpendicular pe planul de bază constructiv.

Planul de măsurare constructiv trece prin punctul considerat de pe tăiș, și este normal atît pe planul muchiei de așchiere constructiv cît și pe cel de bază constructiv.

Unghiurile sculei, adică unghiurile penei de așchiere, se definesc în planul de măsurare. Aceste unghiuri sînt indicate în figura 10.5, unde: α este unghiul de așezare principal, cuprins între planul feței de așezare principal (sau planul tangent la fața de așezare cînd aceasta este o suprafață oarecare) și planul muchiei de așchiere constructiv; β — unghiul de ascuțire principal, măsurat între planul feței de degajare și planul feței de așezare principal; γ — unghiul de degajare principal, cuprins între planul feței de degajare (sau planul tangent la fața de degajare) și planul de bază constructiv; δ — unghiul de așchiere principal, format între planul feței de degajare și planul muchiei de așchiere constructiv; λ — unghiul de înclinare al tăișului principal, măsurat între tăișul principal și planul de bază constructiv. Acest unghi se vede în adevărata mărime într-o vedere normală pe tăiș.

În mod similar se definesc aceleași unghiuri și pentru tăișul secundar al sculei cu mențiunea că unghiurile tăișului secundar poartă indicele 1 (fig. 10.5).

Unghiurile reale cu care lucrează scula în procesul de așchiere, numite *unghiuri efective sau unghiuri funcționale*, se măsoară în raport cu sistemul de referință funcțional. Acest sistem de referință este format din *planul de bază funcțional, planul muchiei de așchiere funcțional* și

planul de măsurare funcțional (fig. 10.6).

Planul de bază funcțional conține punctul de pe tăiș în care se măsoară geometria și este normal pe direcția vectorului viteză efectivă de așchiere.

Planul muchiei de așchiere funcțional conține tăișul sculei (sau tangenta la tăiș) și este normal pe planul de bază funcțional.

Planul de măsurare funcțional conține punctul considerat de pe tăiș și este perpendicular atît pe planul muchiei de așchiere funcțional cît și pe cel de bază funcțional.

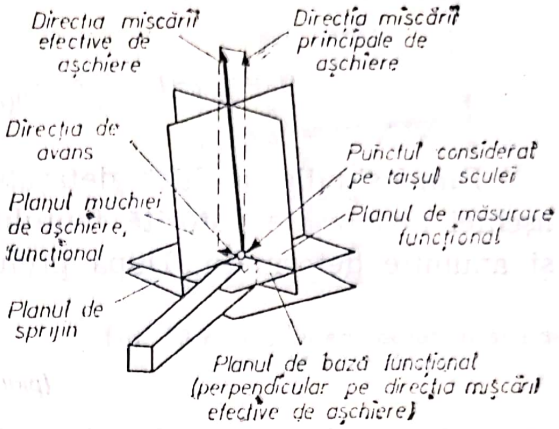


Fig. 10.6. Sistemul de referință funcțional.

Unghiurile măsurate în raport cu sistemul de referință funcțional fiind unghiurile efective ale sculei, poartă indicele *e*.

Unghiurile efective ale penei de așchiere sînt prezentate în figura 10.7.

În planul de bază se definesc unghiurile de poziție ale sculei (fig. 10.7); $\varkappa_e$ este unghiul de atac principal, cuprins între planul muchiei principale de așchiere și direcția de avans; $\varkappa_{1e}$ — unghiul de atac secundar, măsurat între planul muchiei secundare de așchiere și direcția de avans.

Tot în planul de bază se definește unghiul la vîrf ε cuprins între planul muchiei principale, respectiv secundare de așchiere.

10.1.1.4. **Așchia.** Valorile care definesc mărimea așchiei sînt cunoscute sub denumirea de parametrii așchiei. Mărimile așchiei nedetașate se pot defini prin *parametrii geometrici* (grosimea așchiei *a* și lățimea așchiei *b*) sau prin parametrii tehnologici (adîncimea de așchiere *t* și avansul *s*), figura 10.8.

Secțiunea teoretică a așchiei nedetașate q se poate calcula cu relația:

$$q=a\cdot b=t\cdot s. \tag{10.3}$$

Din cauza avansului și a unghiului de atac secundar al sculei secțiunea nominală nedetașată a așchiei q_n are o valoare mai mică decît secțiunea teoretică nedetașată cu mărimea secțiunii rămase pe suprafața piesei q_r care este egală cu suprafața triunghiului ABC (fig. 10.9).

Datorită acestui lucru suprafața prelucrată a piesei rezultă cu neregularități geometrice de înălțime $Rmax$.

Suprafața secțiunii rămase q_r se poate calcula cu relația:

$$q_r=\frac{s\cdot Rmax}{2}. \tag{10.4}$$

Din triunghiul ABC (fig. 10.9) rezultă:

$$s=AD+DB=Rmax\,(\operatorname{ctg}\varkappa_e+\operatorname{ctg}\varkappa_{1e}).$$

Explicitînd pe $Rmax$ și înlocuind în (10.4), rezultă:

$$q_r=\frac{s^2}{2(\operatorname{ctg}\varkappa_e+\operatorname{ctg}\varkappa_{1e})} \tag{10.5}$$

Scanned with OKEN Scanner

Prin urmare, secțiunea nominală a așchiei nedetașate este:

$$q_n = q - q_r = t \cdot s - \frac{s^2}{2(\operatorname{ctg} \varkappa_e - \operatorname{ctg} \varkappa_{1e})} \qquad (10.6)$$

Dimensiunile așchiei detașate diferă de dimensiunile nominale a așchiei nedetașate datorită faptului că în timpul formării așchia suferă și anumite deformații. După prelucrare lungimea așchiei rezultată este

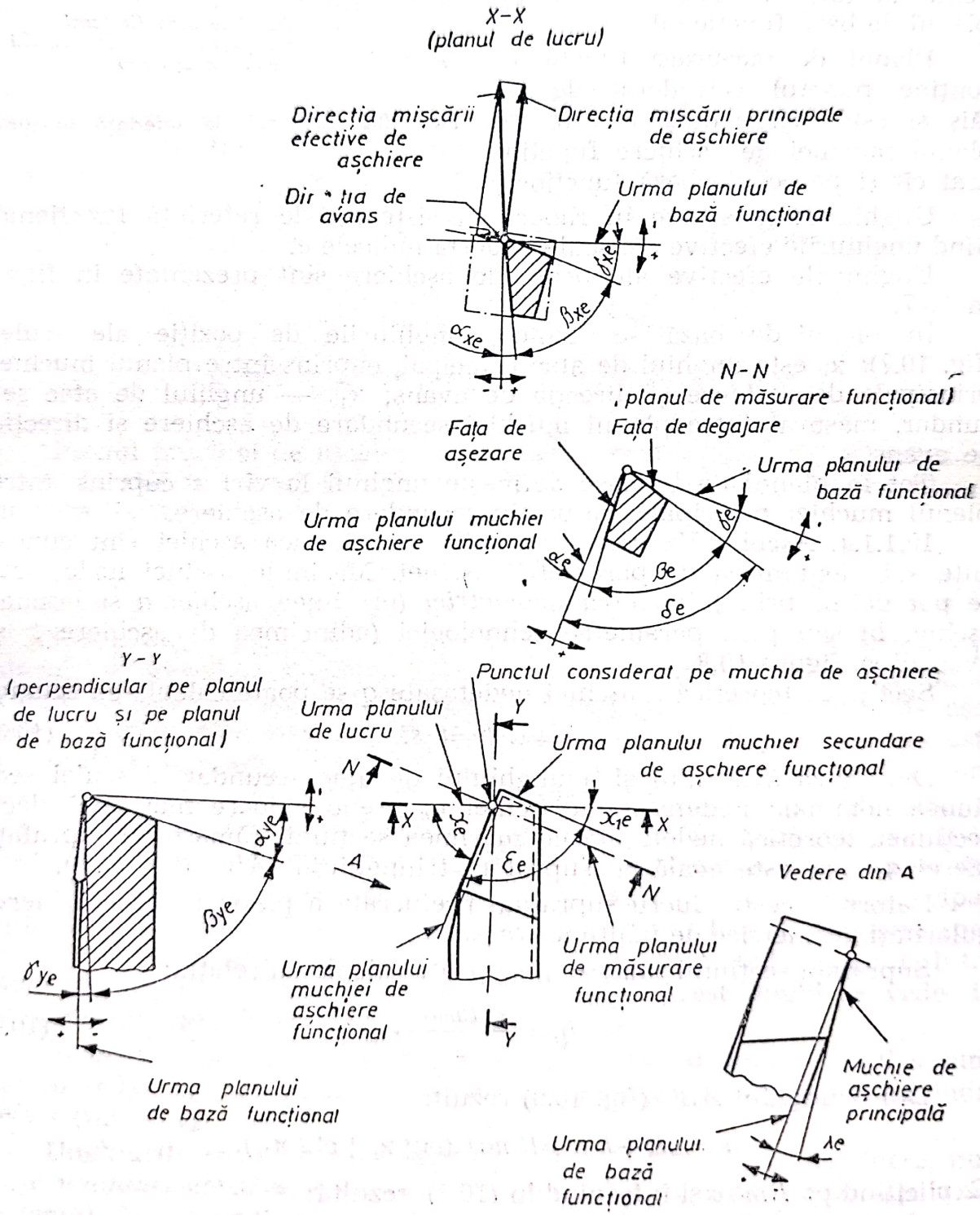


Fig. 10.7. Unghiurile efective în procesul de așchiere.

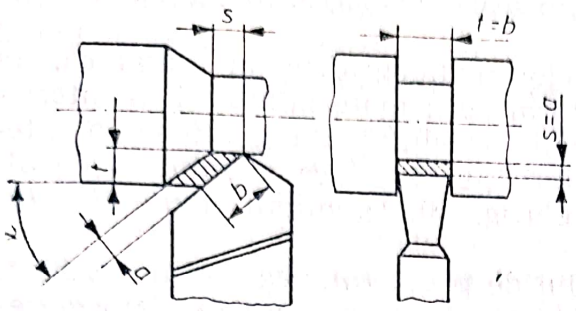


Fig. 10.8. Parametrii aşchiei.

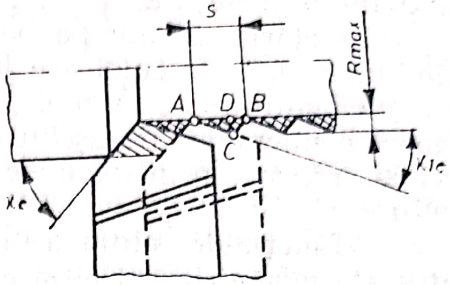


Fig. 10.9. Secţiunea teoretică şi nominală a aşchiei.

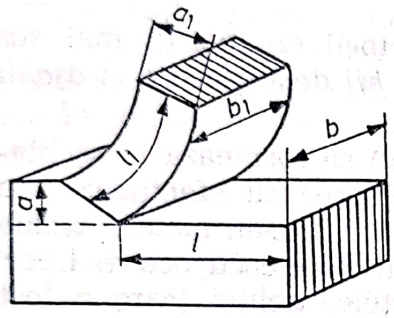


Fig. 10.10. Dimensiunile rea aşchiei.

mai mică decît lungimea aşchiei nedetaşate, iar grosimea şi lăţimea aşchiei rezultată sînt mai mari decît cele ale aşchiei nedetaşate (fig. 10.10).

Micşorarea lungimii aşchiei se exprimă prin coeficientul de contracţie a aşchiei $k_l = l/l_1$, mărirea grosimii aşchiei prin coeficientul de îngroşare a aşchiei $k_a = a_1/a$, iar mărirea lăţimii aşchiei prin coeficientul de lăţire a aşchiei $k_b = b_1/b$.

Acest fenomen de deformare a aşchiei se cunoaşte şi sub denumirea de tasarea aşchiei, iar coeficienţii k_l, k_a, k_b poartă denumirea de coeficienţi de tasare a aşchiei.

10.1.2. PROCESUL FORMĂRII AŞCHIEI

10.1.2.1. **Formarea aşchiei.** La aşchierea metalelor, în timpul îndepărtării adaosului de material sub formă de aşchii, au loc o serie de fenomene fizice foarte complexe.

În urma comprimării materialului de către faţa de degajare a sculei, care înaintează spre materialul de prelucrat, o parte însemnată a materialului de prelucrat suferă o deformaţie elastică, iar în faţa sculei va exista un volum limitat de material deformat plastic. În momentul în care materialul de prelucrat şi-a epuizat capacitatea sa de deformaţie plastică, se produce desprinderea elementului de aşchiere din restul materialului în lungul unui plan înclinat cu unghiul Φ faţă de direcţia mişcării principale a sculei (fig. 10.11). În timpul avansării sculei, elementul de aşchie format se deplasează continuu în lungul feţei de degajare a sculei, iar un al doilea element începe să se formeze analog cu primul, fenomenul repetîndu-se.

Planul în lungul căruia se desprind elementele de aşchii din materialul prelucrat se numeşte *planul de forfecare,* iar unghiul Φ format

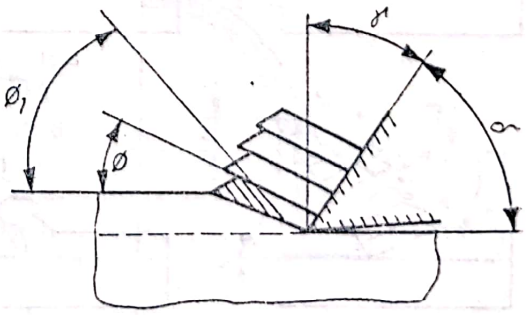


Fig. 10.11. Unghiul de forfecare şi unghiul de alunecare în procesul formării aşchiei.

între planul de forfecare și direcția mișcării principale de așchiere este *unghiul de forfecare*.

Cercetările făcute pe baza probelor metalografice au arătat că, în timpul formării așchiei are loc o deformare a materialului și în interiorul elementului de așchie, granulele materialului alungindu-se în interiorul elementelor de așchii după o direcție care face unghiul Φ_1 cu direcția mișcării principale de așchiere (fig. 10.11), numit *unghi de alunecare*.

În funcție de calitatea materialului de prelucrat, regimul de așchiere utilizat, geometria sculei și condițiile concrete de prelucrare, deformarea materialului în timpul prelucrării poate avea loc după planul de alunecare sau atît după planul de alunecare cît și după planul de forfecare, obținîndu-se diferite tipuri de așchii.

10.1.2.2. **Tipuri de așchii.** În funcție de factorii enumerați mai sus pot rezulta *așchii de curgere, așchii lamelare, așchii de forfecare* și *așchii de rupere*.

Așchiile de curgere sau *continue* (fig. 10.12, *a*) se formează la așchierea materialelor tenace și omogene, cînd prelucrarea se efectuează cu viteze de așchiere relativ mari și grosimi de așchii mici sau medii. Așchia de curgere se compune din elemente de așchii invizibile cu ochiul liber, dar prezența lor este indicată de faptul că spatele așchiei (care a fost în contact cu fața de degajare a sculei) este neted în timp ce partea anterioară a așchiei prezintă denivelări cauzate de alunecarea elementelor de așchii.

Așchiile lamelare (fig. 10.12, *b*) se obțin la prelucrarea materialelor mai puțin tenace sau a celor tenace dar mai puțin omogene cînd așchierea se efectuează cu viteze de așchiere mai mici și grosimi de așchii mai mari decît în cazul precedent.

Așchiile de forfecare (fig. 10.12, *c*) constau din elemente de așchii despărțite complet în planul de forfecare, iar apoi sudate între ele datorită temperaturii și presiunii specifice mari ce apar în zona de deformare a materialului. Aceste așchii apar la o anumită viteză de așchiere în funcție de calitatea materialului prelucrat și condițiile concrete de prelucrare.

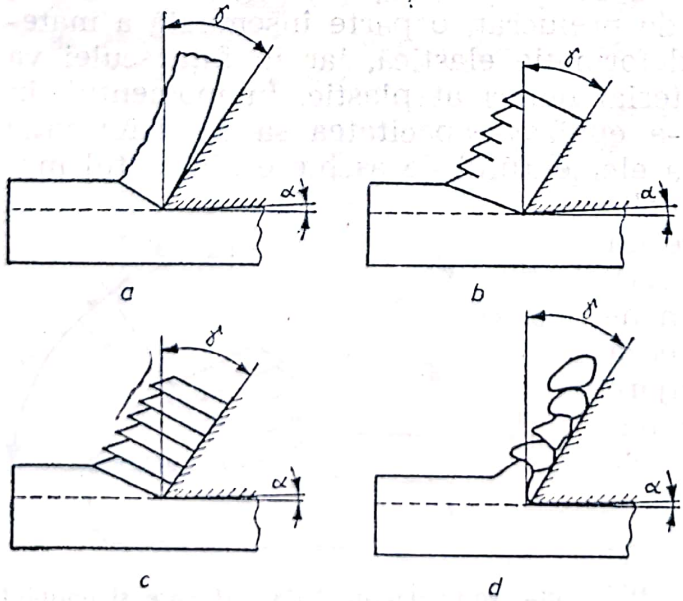


Fig. 10.12. Tipuri de așchii.

Așchiile de rupere (fig. 10.12, *d*) rezultă la prelucrarea materialelor casante (fonta, bronzul) sau uneori la prelucrarea materialelor tenace dar neomogene, cînd prelucrarea are loc cu viteze de așchiere mici. Elementele de așchii desprinse nu prezintă linii de alunecare, acestea fiind rupte de pe suprafața piesei în lungul zonelor de delimitare a grăunților.

Se atrage atenția asupra faptului că tipurile de așchii nu trebuie confundate cu

Scanned with OKEN Scanner

formele de așchii. Pentru fiecare tip de așchie pot rezulta mai multe forme de așchii (în benzi, în spirală, în elice, răsucite etc.).

10.1.2.3. **Fragmentarea așchiilor.** La prelucrările cu viteze de așchiere mari se obțin frecvent așchii de curgere sub forma unor spirale sau benzi de lungimi considerabile. Aceste așchii sînt foarte nedorite pentru că se pot înfășura pe piesă, sculă sau pe vreun organ al mașinii-unelte (pentru îndepărtarea lor trebuie adesea oprită mașina), deteriorează calitatea suprafeței prelucrate, nu permit folosirea instalațiilor de control automat, constituie o sursă de accidentare pentru operator, frînează procesul de așchiere și duc la scăderea productivității muncii.

Inconvenientele enumerate mai sus pot fi înlăturate prin fragmentarea așchiilor lungi, ceea ce se poate asigura:

— prin introducerea în materialul de prelucrat, la elaborare, unele elemente de aliere (sulf, fosfor) care formează niște incluziuni nemetalice la limita dintre cristale, rezultînd așchii fragmentate în timpul prelucrării;

— prin utilizarea sculelor cu geometrie corespunzătoare (unghi de degajare γ și unghi de înclinare a tăișului λ negative) care asigură o deformare suplimentară așchiei din care motiv devine casantă și se rupe;

— prin utilizarea fragmentatorilor de așchii, care se pot obține prin ascuțirea corespunzătoare a sculelor așchietoare, sau pot fi fragmentatori aplicați (fixați pe fața de degajare a sculei).

10.1.2.4. **Depunerile aderente pe tăiș.** În anumite condiții de așchiere, la prelucrarea materialelor tenace, se poate întîmpla ca particule foarte fine de metal desprinse din așchie sau piesă să se depună pe fața de degajare a sculei în straturi succesive, care aderă foarte puternic pe fața respectivă (fig. 10.13). Stratul de metal foarte dur, lipit pe fața de degajare a sculei, se numește tăiș de depunere și se caracterizează prin aceea că se formează în mod periodic. Cînd dimensiunile tăișului de depunere cresc peste anumite limite, în momentul în care forțele de aderență sînt învinse de forțele externe care acționează asupra stratului depus, aceasta este eliminat parțial sau complet și începe formarea unui nou tăiș de depunere. Tăișul de depunere desprins de pe fața de degajare a sculei poate fi antrenat de așchie sau presat pe suprafața prelucrată a piesei, ducînd la înrăutățirea calității suprafeței prelucrate.

Tăișul de depunere constituie un strat protector pentru sculă, în schimb acest tăiș fals, format periodic, modifică dimensiunea sculei și provoacă variații ale dimensiunii piesei prelucrate. Apariția periodică a acestor tăișuri de depunere provoacă variația forței de așchiere, ceea ce poate duce la apariția vibrațiilor.

Datorită considerentelor de mai sus la operațiile de degroșare, cînd nu se urmărește precizia dimensională și netezimea suprafeței, formarea tăișului de depunere este avantajos, la prelucrările de finisare însă formarea tăișului de depunere trebuie evitată.

Stratul de metal depus pe fața de degajare a sculei are o duritate maximă la temperatura de 300—400°C, iar la temperaturi mai mari de 600°C nu se mai formează.

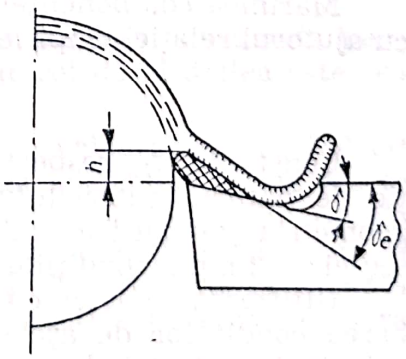


Fig. 10.13. Depunerile aderente pe tăiș.

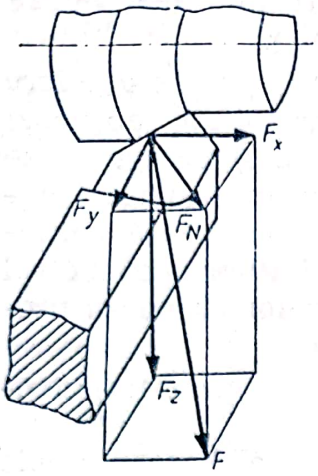


Fig. 10.14. Forțele de așchiere în timpul strunjirii longitudinale.

Pentru a asigura îndepărtarea adaosului de material de pe suprafața piesei, scula așchietoare acționează asupra piesei cu o anumită forță. În același timp, conform principiului acțiunii-reacțiunii, și piesa acționează asupra sculei cu o forță de aceeași mărime și direcție dar de sens contrar. Forța cu care acționează piesa asupra sculei, deci forța care solicită scula așchietoare, poartă denumirea de *forță de așchiere*.

În marea majoritate a cazurilor forța de așchiere este o forță spațială, care se descompune în trei componente perpendiculare (fig. 10.14):

F_z este *componenta principală a forței de așchiere,* având direcția mișcării principale (tangentă la traiectoria mișcării principale de așchiere);

F_x — *componenta axială a forței de așchiere,* având direcția mișcării de avans;

F_y — *componenta radială a forței de așchiere,* având direcția normală pe planul determinat de celelalte două componente.

Forțele F_x și F_y rezultă prin descompunerea forței F_N care este perpendiculară pe tăișul principal a sculei.

Rezultă deci că:

$$F_N=\sqrt{F_x^2+F_y^2}. \tag{10.7}$$

Având în vedere că forțele F_z și F_N sînt perpendiculare, mărimea forței de așchiere se poate calcula cu relația:

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2+F_z^2}. \tag{10.8}$$

Importanță practică prezintă în primul rînd componenta principală a forței de așchiere, aceasta având mărimea cea mai mare dintre componentele forței de așchiere.

Valoarea componentei principale a forței de așchiere este funcție de calitatea materialului așchiat (în primul rînd de rezistența la rupere respectiv duritate), de modul de obținere a semifabricatului, de geometria sculei, de parametrii așchiei detașate, de condițiile de lucru.

Mărimea componentei principale a forței de așchiere se poate calcula cu ajutorul relației empirice:

$$F_z=C_{Fz}\cdot t^{x_{Fz}}\cdot s^{y_{Fz}}. \tag{10.9}$$

Constanta C_{Fz} respectiv exponenții x_{Fz} și y_{Fz} se dau tabelar în funcție de natura materialului de prelucrat, calitatea materialului sculei, geometria standard a sculei ($\varkappa=45°$; $\gamma=15°$; raza de rotunjire a vîrfului sculei $r=2$ mm), condițiile de prelucrare existente.

Utilizarea sculelor cu geometrie diferită de cea standard sau schimbarea condițiilor de așchiere, cauzează modificarea valorii componentei principale a forței de așchiere. Dacă așchierea se desfășoară în condiții diferite de cele pentru care s-au determinat constanta C_{Fz} și exponenții x_{Fz} respectiv y_{Fz}, în relația (10.9) se introduce un coeficient de corec-

Scanned with OKEN Scanner

ție K indicat tot tabelar, care ține cont de influența condițiilor noi asupra mărimii forței de așchiere.

Cu relații similare se pot determina și mărimea componentelor axiale și radiale ale forței de așchiere:

$$F_x = C_{Fx} \cdot t^{x_{Fx}} \cdot s^{y_{Fx}};$$
$$F_y = C_{Fy} \cdot t^{v_{Fy}} \cdot s^{y_{Fy}} \tag{10.10}$$

10.1.4. LUCRUL MECANIC ȘI PUTEREA ÎN PROCESUL DE AȘCHIERE

Îndepărtarea adaosului de material sub formă de așchii necesită efectuarea unui lucru mecanic a cărui valoare se poate calcula cel mai ușor plecînd de la mărimea forței de așchiere. Se știe că lucrul mecanic este dat de produsul scalar între forță și deplasarea produsă de această forță:

$$L = \overline{F} \cdot \overline{l} = F \cdot l \cdot \cos \varphi, \tag{10.11}$$

unde φ este unghiul dintre direcția forței și direcția de deplasare.

În cazul așchierii este mai comod ca în locul forței de așchiere să se lucreze cu componentele acesteia. În baza acestui considerent și avînd în vedere faptul că la așchiere direcția forței coincide cu direcția de deplasare, se poate scrie:

$$L = F_z \cdot l_z + F_y \cdot l_y + F_x \cdot l_x. \tag{10.12}$$

În cazul strunjirii longitudinale (fig. 10.14) l_y fiind zero (neexistînd deplasare în direcția radială), relația (10.12) devine:

$$L = F_z \cdot l_z + F_x \cdot l_x. \tag{10.13}$$

Puterea consumată pentru așchiere, care este egală cu lucrul mecanic efectuat în unitate de timp, se obține prin derivarea expresiei (10.13), rezultînd:

$$P = F_z \cdot V_p + F_x \cdot V_s. \tag{10.14}$$

Introducînd valoarea forței în newtoni și avînd în vedere relațiile (10.1) și (10.2) expresia (10.14) devine:

$$P = \frac{F_z \cdot \pi D n}{60 \cdot 1\,000} + \frac{F_x \cdot s \cdot n}{60 \cdot 1\,000} \quad [\text{Watt}], \tag{10.15}$$

Primul termen al relației (10.15) reprezintă puterea consumată pentru realizarea mișcării principale de așchiere, iar cel de-al doilea este cea folosită pentru executarea mișcării de avans.

Componenta axială a forței de așchiere are o valoare mai mică decît componenta principală. În același timp mărimea avansului s este foarte mic în raport cu πD, de unde rezultă că termenul al doilea din relația (10.15) se poate neglija în raport cu primul. În general puterea necesară realizării mișcării de avans reprezintă 1—2% din puterea consumată pentru așchiere. Din acest motiv în calculele practice puterea necesară pentru așchiere se determină cu relația:

$$P = \frac{F_z \cdot V_p}{60} \quad [\text{Watt}] \tag{10.16}$$

Scanned with OKEN Scanner

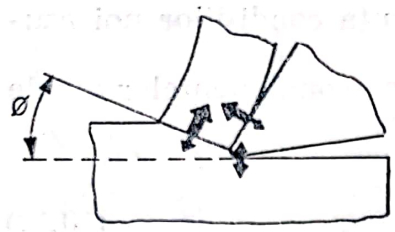


Fig. 10.15. Apariția căldurii în procesul de așchiere.

Datorită pierderilor din lanțurile cinematice ale mașinii-unelte, puterea motorului de antrenare se calculează cu relația:

$$P_m = \frac{P}{\eta}, \qquad (10.17)$$

unde η este randamentul total, egal cu produsul randamentelor parțiale din lanțurile cinematice.

10.1.5. TERMODINAMICA PROCESULUI DE AȘCHIERE

Lucrul mecanic cheltuit pentru așchiere se transformă aproape integral în căldură. Doar o mică parte a lucrului mecanic consumat se transformă în energie potențială (tensiuni interne) în rețeaua cristalină a metalului prelucrat.

Cantitatea de căldură apare, în primul rînd, datorită frecărilor interne în planul de alunecare și planul de forfecare, iar în al doilea rînd, datorită frecărilor dintre fața de degajare a sculei și așchie respectiv fața de așezare și suprafața prelucrată a piesei (fig. 10.15). Din aceste locuri căldura se transmite în zonele cu temperatură mai scăzută, fiind prelucrată de așchie, sculă, semifabricat și mediul ambiant.

Căldura preluată de sculă ridică temperatura acesteia, ceea ce duce la diminuarea capacității ei de așchiere. Din acest motiv este important ca scula să preia cît mai puțin din cantitatea de căldură rezultată în timpul așchierii.

Temperatura sculei se poate calcula cu ajutorul relației empirico-experimentale:

$$\theta = C_\theta \cdot t^{x_\theta} \cdot s^{y_\theta} \cdot v_p^{z_\theta}. \qquad (10.18)$$

Influența cea mai mare asupra temperaturii tăișului sculei o are viteza de așchiere.

Constanta C_θ respectiv exponenții x_θ, y_θ și z_θ se indică tabelar funcție de natura materialului de prelucrat, calitatea materialului sculei, geometria sculei așchietoare, lichidele de răcire-ungere utilizate. În cazul în care prelucrarea se desfășoară în condiții diferite față de cele pentru care s-au determinat constanta și exponenții, relația de calcul a temperaturii se înmulțește cu un coeficient de corecție a cărei valoare se indică tot tabelar.

Temperatura tăișului sculei se poate reduce simțitor prin răcire.

10.1.5.1. **Lichidele de răcire-ungere.** Lichidele de răcire-ungere îndeplinesc un rol dublu. Prin ungerea suprafețelor în contact reduc frecarea și prin aceasta cantitatea de căldură degajată, iar în al doilea rînd îndepărtează o parte din căldura formată.

Lichidul cu efectul cel mai mare de răcire este apa, iar lichidul cu cel mai mare efect de ungere este uleiul vegetal.

La operațiile de degroșare se utilizează lichide cu capacitate mare de răcire cum sînt soluțiile apoase (formate din sodă sau săpun în apă) și emulsiile (amestec de apă și ulei mineral). La finisare se folosesc lichide cu proprietăți bune de ungere cum sînt uleiurile minerale, ule-

Scanned with OKEN Scanner

iurile vegetale, uleiurile active (ca sulfofrezolul care este ulei activ cu sulf).

La prelucrarea fontei se utilizează ca lichid de răcire-ungere petrolul lampant care are proprietăți foarte bune de spălare.

Utilizarea lichidelor de răcire-ungere permite mărirea vitezei de așchiere cu 15—25%.

10.1.6. UZURA ȘI DURABILITATEA SCULELOR AȘCHIETOARE

Efectul combinat al căldurii degajate în timpul așchierii și frecărilor existente (între fața de degajare a sculei și așchie, respectiv între fața de așezare a sculei și piesă) cauzează uzura sculelor așchietoare.

După un timp oarecare de lucru pe fața de așezare a sculei, în vecinătatea vîrfului, se produce o teșitură, iar pe fața de degajare apare o scobitură paralelă cu tăișul principal (fig. 10.16). Mărimea uzurii se definește prin înălțimea h_α a teșiturii feței de așezare și respectiv prin adîncimea h a scobiturii de pe fața de degajare a sculei.

Uzura sculei progresează în timp. Pe curba de uzură (fig. 10.17) pot fi puse în evidență trei zone de uzură:

Prima zonă, numită *zonă de uzură inițială,* se caracterizează printr-o uzură relativ mare într-un timp relativ scurt. În acest interval are loc îndepărtarea vîrfurilor microasperităților rămase după ascuțirea sculei.

În zona a doua, *zona de uzură normală,* uzura este lentă în timp, avînd o variație aproape liniară. În acest interval procesul de așchiere se desfășoară într-un regim termic stabil.

La o anumită valoare a uzurii se strică echilibrul termic, temperatura tăișului sculei crește brusc și se intră în zona a treia de uzură numită *zonă de uzură totală.*

Este de dorit ca în timpul exploatării sculele să nu ajungă în zona de uzură totală. La operațiile de degroșare uzura admisibilă poate să fie undeva pe la sfîrșitul zonei a doua, în timp ce la operațiile de finisare uzura admisibilă a sculei se stabilește în funcție de toleranța de execuție a piesei.

După atingerea uzurii admisibile scula trebuie ascuțită. Timpul efectiv de lucru al sculei pînă la atingerea uzurii admisibile, sau timpul efec-

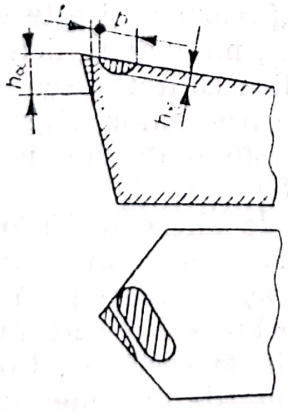


Fig. 10.16. Uzura sculei în timpul așchierii.

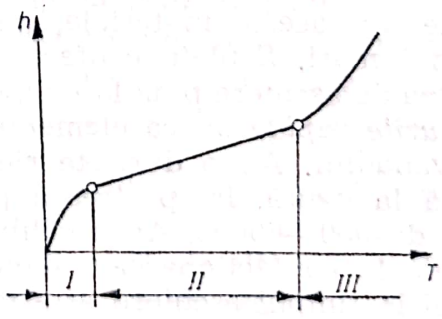


Fig. 10.17. Curba de uzură în timp.

tiv de lucru al sculei între două reascuțiri, poartă denumirea de *durabilitatea sculei* și se notează cu T.

Uzura și durabilitatea sculelor așchietoare sînt influențate de proprietățile fizico-mecanice ale materialului de prelucrat, calitatea materialului sculei, parametrii regimului de așchiere, geometria părții active a sculei, lichidele de răcire-ungere folosite, condițiile de prelucrare utilizate. Influența cea mai mare asupra durabilității sculei o are viteza de așchiere.

În calculele practice însă viteza de așchiere se determină în funcție de durabilitatea optimă a sculei.

În general criteriul de optimizare este costul de producție. Prin urmare viteza de așchiere se calculează în funcție de durabilitatea care asigură costul minim.

Expresia analitică cu care se poate determina viteza de așchiere în funcție de durabilitatea sculei, ținînd cont și de influența avansului și a adîncimii de așchiere este:

$$v = \frac{C}{t^{x_v} \cdot s^{y_v} \cdot T^m}. \qquad (10.19)$$

Constanta C și exponenții x_v, y_v și m depind în primul rînd de calitatea materialului piesei și al sculei, respectiv de condițiile concrete de prelucrare. Valoarea acestora se determină experimental și se indică tabelar.

10.1.7. MATERIALE PENTRU SCULE AȘCHIETOARE

Datorită solicitărilor mecanice și termice deosebite, la care sînt supuse sculele așchietoare, materialul din care se confecționează partea activă a acestora trebuie să satisfacă anumite condiții: rezistență mecanică, rezistență la uzură și duritate ridicată; tenacitate și stabilitate la temperaturi înalte; să aibă o conductibilitate termică și o călibilitate bună; să aibă un cost cît mai scăzut.

Oțelurile carbon pentru scule sînt aliaje fier-carbon cu un conținut de 0,6—1,4% carbon. Cu creșterea conținutului de carbon crește duritatea materialului dar scade tenacitatea. Are o duritate ridicată după călire (62—65 HRC) dar o stabilitate termică scăzută (la 200—250°C își pierde capacitatea de așchiere) din care motiv se pot utiliza la viteze mici de așchiere.

Oțelurile aliate pentru scule conțin pe lîngă carbon și alte elemente de aliere, ca de exemplu crom, wolfram, mangan, molibden, nichel, vanadiu etc. Prezența acestor elemente de aliere ridică calitatea sculelor confecționate din aceste materiale, permițînd folosirea unor viteze de așchiere mai mari. Sculele confecționate din aceste materiale își mențin capacitatea de așchiere pînă la temperatura de 250—350°C.

Oțelurile rapide au ca elemente principale de aliere wolframul, cromul și vanadiul. Au o duritate ridicată, o mare rezistență mecanică și rezistență la uzură. Își păstrează proprietățile așchietoare pînă la temperatura de 550—600°C. Au o călibilitate foarte bună din care motiv pot fi utilizate la confecționarea sculelor cu variații de secțiune. Comportarea sculei în timpul așchierii este mult influențată de tratamentul termic adoptat. În timpul tratamentului termic oțelul rapid în general se decarburează și acest strat superficial decarburat se elimină prin operația de rectificare.

Scanned with OKEN Scanner

Oțelurile rapide, din cauza elementelor de aliere, sînt relativ scumpe din care motiv doar partea activă a sculei se confecționează din acest material.

Carburile metalice se obțin prin sinterizarea carburilor de wolfram, titan, tantal legate între ele cu un liant care în general este cobaltul și mai rar nichelul. Au o mare stabilitate la temperaturi înalte, menținînd capacitatea de așchiere pînă la temperatura de 900—1 000°C.

Carburile metalice în funcție de utilizare sînt de grupa *P* (culoare albastră), grupa *M* (culoare galbenă), grupa *K* (culoare vișinie). În cadrul unei grupe sînt mai multe calități de carburi metalice, tipul carburii metalice alegîndu-se în funcție de calitatea materialului de prelucrat.

Materialele mineralo-ceramice se obțin prin sinterizarea oxidului de aluminiu în plăcuțe de forme și dimensiuni dorite. Pe lîngă oxidul de aluminiu pot avea mici cantități de molibden și titan sau cantități reduse de carburi de wolfram, titan și molibden. Aceste materiale rezistă pînă la temperaturi din zona de așchiere cuprinse între 1 100—1 200°C sînt însă fragile, fiind sensibile la șocuri și vibrații. Au un cost relativ scăzut, dar costul ascuțirii este de cîteva ori mai mare decît cel al elaborării.

Diamantul fiind materialul cu duritatea cea mai ridicată asigură o foarte bună rezistență la uzură în timpul așchierii. Prin șlefuire se poate asigura sculei un tăiș foarte fin. Rezistă pînă la temperaturi de 1 600—1 800°C. Diamantul fiind foarte fragil, se poate folosi doar la prelucrări de finisare cînd așchierea are loc fără șocuri sau trepidații.

Materialele abrazive sînt granule foarte dure prinse cu ajutorul unui liant în corpuri abrazive de diferite forme și dimensiuni.

Granulele abrazive din care se pot confecționa corpuri abrazive pot fi naturale (diamantul, corindonul, șmirghelul, cuarțul) și artificiale (electrocorindonul, carbura de siliciu, carbura de bor). În practică se folosesc cele artificiale.

După mărimea particulelor, materialele abrazive pot fi: granule (160 . . . 2 500 μm), pulberi (40 . . . 160 μm) și micropulberi (3 . . . 40 μm). Notarea granulației pietrei abrazive se face cu ajutorul unor numere care reprezintă mărimea granulei în sutimi de milimetru pentru granule și pulberi respectiv în μm pentru micropulberi.

Lianții utilizați pot fi anorganici (ceramici, silicioși, magnezieni) și organici (cauciuc, bachelită, șelac). Cel ma frecvent se utilizează liantul ceramic, iar în cazul discurilor abrazive de grosimi mici cauciucul se folosește ca liant din cauza elasticității mari.

Granulele abrazive se uzează (se tocesc) în timpul așchierii, pierzîndu-și capacitatea de așchiere. Aceste granule uzate sînt eliminate (smulse) din liant de forțele de așchiere. Dacă liantul reține puternic granula abrazivă sînt necesare forțe de așchiere mai mari care apar la granulele mult prea uzate, iar dacă liantul reține slab granulele abrazive acestea sînt eliminate înainte de a atinge uzura admisibilă.

Rezistența pe care o opune liantul la smulgerea granulelor din corpul abraziv se indică prin duritatea corpului abraziv. Pentru indicarea durității discurilor abrazive se folosesc literele mari ale alfabetului. Sînt cinci grupe de duritate: foarte moale *(E, F, G)*, moale *(H, I, J, K)*, mijlocie *(L, M, N, O)*, tare *(P, Q, R, S)*, foarte tare *(T, U, V)*.

Se poate accepta ca o regulă că materialele tari se rectifică cu pietre moi, iar materialele moi cu pietre tari.

Scanned with OKEN Scanner

10.2. MAŞINI-UNELTE

10.2.1. STRUCTURA CINETICĂ A MAŞINILOR-UNELTE

În vederea generării suprafeţelor, o maşină-unealtă trebuie să realizeze anumite traiectorii impuse de forma piesei, cu anumite viteze impuse de parametri tehnologici ai procesului de aşchiere. Pentru realizarea acestor mişcări fiecare maşină-unealtă trebuie să posede un *lanţ cinematic principal*, unul sau mai multe *lanţuri cinematice de avans* şi cîteva *lanţuri cinematice auxiliare*.

Lanţul cinematic principal realizează mişcarea principală de aşchiere, iar lanţul cinematic de avans asigură mişcarea de avans. Lanţurile auxiliare pot fi de deservire (manevrarea materialului, a sculelor), de măsurare şi control (asigură verificarea dimensiunilor pieselor), de protecţie (protecţia omului, protecţia maşinii) etc.

Lanţurile cinematice sînt formate de mecanisme legate între ele în serie. Fiecare mecanism are un capăt de intrare şi un capăt de ieşire. Raportul între mărimea de ieşire şi mărimea de intrare este *raportul de transmitere* sau *raportul de transfer* al mecanismului. În mod similar se poate defini şi raportul de transfer sau raportul de transmitere a lanţului cinematic ca raportul între mărimea de ieşire şi mărimea de intrare a lanţului cinematic respectiv.

Dacă mărimea de ieşire din lanţul cinematic principal a unui strung este turaţia n_e, iar mărimea de intrare este turaţia motorului de antrenare n_i, raportul de transfer al lanţului cinematic i este:

$$i = \frac{n_e}{n_i}. \tag{10.20}$$

Pe o maşină-unealtă pot fi prelucrate materiale diferite. Pentru fiecare material corespunde o viteză economică de aşchiere. Însă chiar pentru acelaşi material în funcţie de diametrul piesei sau al sculei viteza economică de aşchiere se obţine la o anumită turaţie a elementului care execută mişcarea de rotaţie. Rezultă de aici că lanţul cinematic trebuie să asigure mai multe mărimi de ieşire (mai multe turaţii) pentru ca prelucrarea să se realizeze cu viteza economică de aşchiere. Prin urmare în lanţul cinematic trebuie să existe cel puţin un mecanism capabil să realizeze diferite rapoarte de transfer.

În cursurile de maşini-unelte se demonstrează că turaţiile realizate de lanţurile cinematice principale trebuie să fie în serie geometrică pentru ca pierderile de productivitate să fie constante între două turaţii consecutive. Acest lucru se obţine dacă şi rapoartele de transfer realizate de lanţul cinematic sînt în serie geometrică.

Raportul dintre turaţia maximă n_{max} şi turaţia minimă n_{min} realizate de lanţul cinematic principal este raportul de reglare al turaţiilor R_n:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}}. \tag{10.21}$$

Raportul de reglare are o valoare mai mare în cazul maşinilor-unelte universale, şi o valoare mai mică în cazul maşinilor speciale.

În interiorul domeniului de reglare valorile turaţiilor pot varia în trepte sau continuu.

Scanned with OKEN Scanner

10.2.2. MECANISME PENTRU REGLAREA ÎN TREPTE A TURAȚIILOR

Aceste mecanisme asigură transmiterea mișcării de rotație de la arborele conducător la arborele condus, realizînd raportul de transfer impus.

Mecanismul cu două roți de curea (fig. 10.18, *a*) se compune din roata de curea *1* fixată pe arborele *I* care se rotește cu turația n_0, din roata de curea *2* montată pe arborele condus *II* (la care se obține turația n_1) și cureaua *3*. Considerînd că mișcarea se transmite de la elementul conducător la cel condus fără alunecarea curelei, vitezele periferice a celor două roți de curea sînt egale. Diametrul roților de curea fiind D_1, respectiv D_2, se poate scrie:

$$\pi D_1 n_0 = \pi D_2 n_1,$$

de unde rezultă:

$$i = \frac{n_1}{n_0} = \frac{D_1}{D_2}. \qquad (10.22)$$

Prin urmare raportul de transfer se poate exprima și ca raportul diametrelor roții conducătoare și roții conduse.

Mecanismul cu două roți dințate (fig. 10.18, *b*) este format din roata dințată *1* avînd z_1 dinți, montată pe arborele conducător *I* care se rotește cu turația n_0, respectiv din roata dințată *2*, cu z_2 dinți, montată pe arborele *II* la care rezultă turația n_1. În punctul de contact (în polul angrenării) viteza periferică a pinionului fiind egală cu cea a roții dințate, se poate scrie:

$$\pi D_{d1} n_0 = \pi D_{d2} n_1.$$

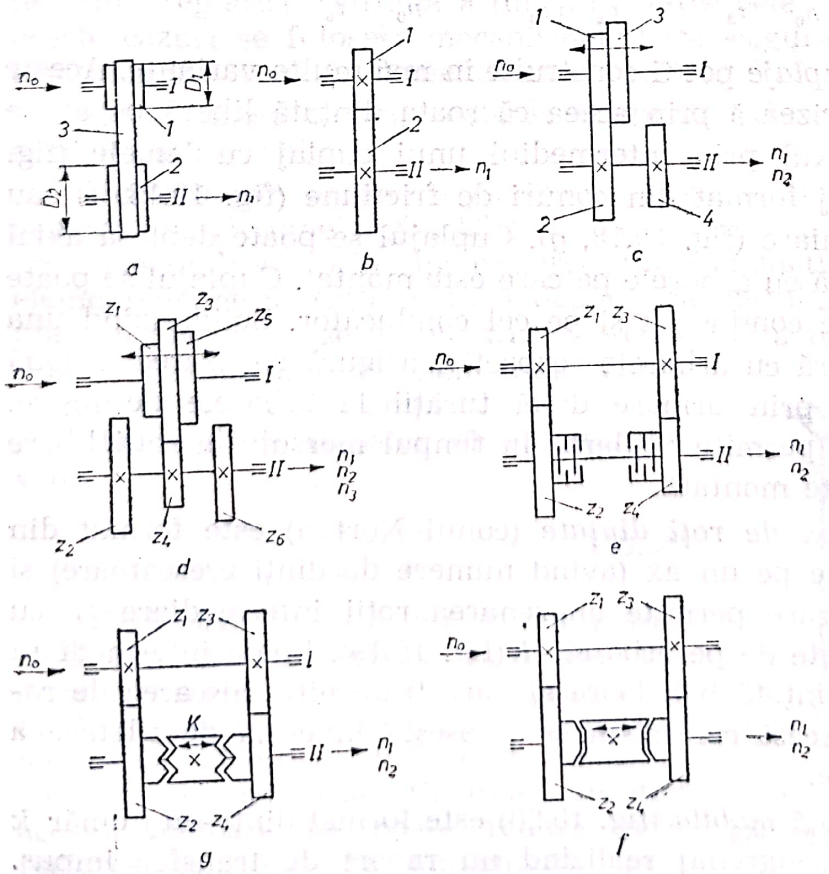


Fig. 10.18. Mecanisme pentru reglarea turației în trepte.

Avînd în vedere că în cazul roților dințate diametrele de divizare se pot exprima prin produsul dintre modul și numărul de dinți, se poate scrie:

$$D_{d1}=m\cdot z_1 \text{ și } D_{d2}=m\cdot z_2.$$

În baza acestor relații raportul de transfer realizat de un angrenaj format din două roți dințate se exprimă cu ajutorul expresiei:

$$i=\frac{n_1}{n_0}=\frac{z_1}{z_2}. \tag{10.23}$$

Mecanismul cu balador dublu (fig. 10.18, *c*) asigură, prin deplasarea axială a baladorului, angrenarea roții dințate *1* cu *2* sau a roții dințate *3* cu *4*. Admițînd că roțile dințate au numerele de dinți z_1 și z_2, respectiv z_3 și z_4, mecanismul poate realiza rapoartele de transfer:

$$i_1=\frac{n_1}{n_0}=\frac{z_1}{z_2} \text{ și } i_2=\frac{n_2}{n_0}=\frac{z_3}{z_4}. \tag{10.24}$$

Mecanismul cu balador triplu (fig. 10.18, *d*) este format dintr-un grup balador deplasabil axial pe arborele *I* și trei roți dințate fixe pe arborele *II*. Este posibil ca baladorul să se monteze pe arborele condus și roțile fixe pe arborele conducător. Acest mecanism permite realizarea următoarelor rapoarte de transfer:

$$i_1=\frac{n_1}{n_0}=\frac{z_1}{z_2};\ i_2=\frac{n_2}{n_0}=\frac{z_3}{z_4};\ i_3=\frac{n_3}{n_0}=\frac{z_5}{z_6}. \tag{10.25}$$

Mecanismele cu cuplaje pot fi construite în mai multe variante. Aceste mecanisme se caracterizează prin aceea că roata dințată liberă pe ax se poate solidariza cu axul prin intermediul unui cuplaj cu lamele (fig. 10.18, *e*), cu un cuplaj format din conuri de fricțiune (fig. 10.18, *f*) sau printr-un cuplaj cu ghiare (fig. 10.18, *g*). Cuplajul se poate deplasa axial dar se rotește împreună cu arborele pe care este montat. Cuplajul se poate monta atît pe arborele condus cît și pe cel conducător. Solidarizînd una sau cealaltă roată liberă cu arborele respectiv, asigură realizarea a două rapoarte de transfer, prin urmare două turații la arborele de ieșire. Cuplajul cu ghiare nu permite cuplarea în timpul mersului a roții libere cu arborele pe care este montată.

Mecanismul cu con de roți dințate (conul Norton) este format din 5÷8 roți dințate fixate pe un ax (avînd numere de dinți crescătoare) și dintr-un braț mobil, care permite angrenarea roții intermediare z_i cu oricare din roțile dințate de pe arborele *I* (fig. 10.19). Roata intermediară angrenează cu roata dințată baladoare z_b care transmite mișcarea de rotație la arborele *II*. Acest mecanism se folosește în cutia de filetare a strungurilor universale.

Mecanismul cu pană mobilă (fig. 10.20) este format dintr-un număr k de angrenaje, fiecare angrenaj realizînd un raport de transfer impus.

Scanned with OKEN Scanner

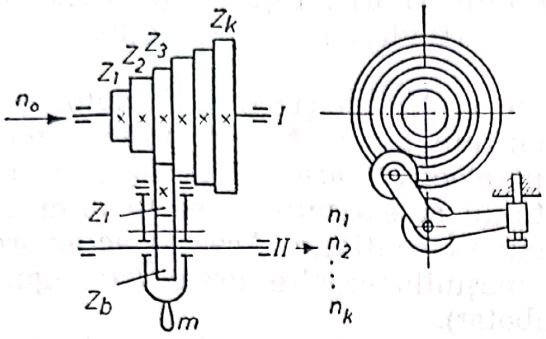


Fig. 10.19. Mecanismul cu con de roți dințate.

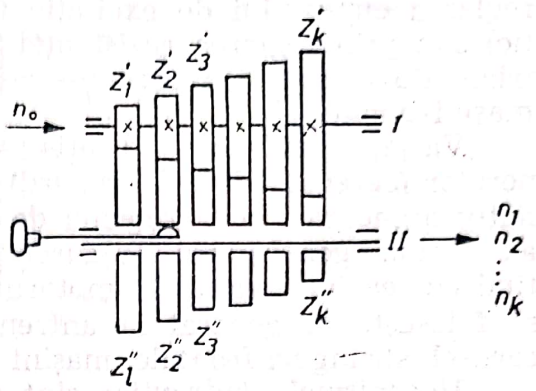


Fig. 10.20. Mecanismul cu pană mobilă.

Pe arborele *I* roțile dințate sînt fixe, iar pe arborele *II* roțile dințate se pot roti liber. În arborele *II* este un canal în care se deplasează în direcția axială o pană care poate solidariza cu arborele respectiv oricare din roțile dințate montate pe acest arbore, asigurînd obținerea raportului de transmitere dorit. Aceste mecanisme, avînd o rigiditate scăzută, se utilizează doar în cutiile de avansuri ale mașinilor-unelte.

10.2.3. MECANISME PENTRU REGLAREA CONTINUĂ A TURAȚIILOR

Mecanismele pentru reglarea în trepte a turațiilor pot realiza doar anumite turații discrete la arborele condus. Sînt cazuri în care devine necesară reglarea continuă a turațiilor între cele două limite extreme. În aceste cazuri se folosesc mecanismele care asigură o variație continuă a turațiilor în interiorul domeniului de reglare.

Mecanismele pentru reglarea continuă a turațiilor pot fi mecanice, electrice și hidraulice.

Mecanismele mecanice pentru reglarea continuă a turațiilor sînt în general cu fricțiune (fig. 10.21), variația continuă a raportului de transfer realizîndu-se prin modificarea razei punctului de contact între elementele mecanismului. Prin deplasarea discului conic *1* pe suprafața plană a discului *2* se obține varierea continuă a turației la arborele condus *II*. Contactul între elementele variatorului se asigură cu arcul *3*.

Raportul de transfer al variatorului este:

$$i = \frac{n_x}{n_0} = \frac{R_x}{R}. \qquad (10.26)$$

Variatorii electrici de turații sînt formați din mașini-electrice care pot asigura o variație continuă a turației la axul de ieșire. În acest scop se utilizează motoarele electrice de curent continuu cu excitație derivație. Reglarea turației acestor motoare se poate realiza prin reglarea tensiunii de alimentare, prin

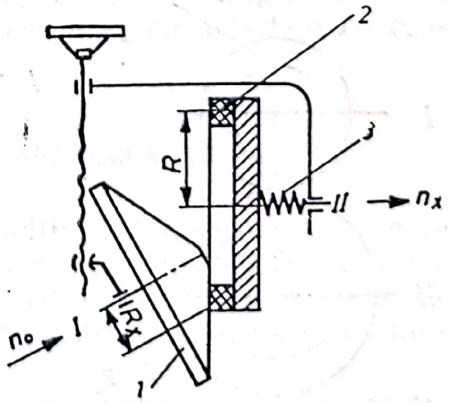


Fig. 10.21. Variator continuu de turație cu con deplasabil.

Scanned with OKEN Scanner

reglarea curentului de excitație (care produce variația fluxului magnetic) sau prin reglarea rezistenței circuitului rotoric. Lipsa rețelei industriale de curent continuu nu a permis extinderea acestei acționări la mașini-unelte.

Variația continuă a turației se poate realiza și cu grupul motor-generator (agregatul Ward-Leonard) format dintr-un motor de curent alternativ alimentat de la rețeaua de curent electric care antrenează, pe un ax comun, generatorul de curent continuu și excitația, aceasta alimentînd cu tensiune variabilă motorul de curent continuu. Această acționare se folosește în general la antrenarea mașinilor-unelte grele (strunguri carusel, strunguri frontale, mașini de rabotat).

Mecanismele hidraulice sînt folosite mai rar la variația continuă a turațiilor dar se folosesc foarte frecvent la realizarea mișcărilor pe traiectorii rectilinii.

10.2.4. MECANISME PENTRU INVERSAREA SENSULUI DE ROTAȚIE

Aproape că nu există mașină-unealtă la care să nu fie nevoie de inversarea sensului de rotație a axului principal, de inversarea sensului de deplasare a mesei, a suporților etc.

Două roți dințate în angrenare se rotesc mereu în sensuri opuse. Dacă între acestea se introduce o a treia roată dințată, arborele conducător și cel condus se rotesc în același sens (fig. 10.22). Raportul de transfer în cazul celor două mecanisme este:

$$i = \frac{z_1}{z_2}, \text{ respectiv } i' = \frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_3}{z_2} = \frac{z_1}{z_2}. \qquad (10.27)$$

Relația (10.27) arată că a treia roată introdusă în angrenare schimbă doar sensul de rotație, neavînd însă influență asupra raportului de transfer.

Mecanismul inversor cu roți dințate rabatabile (fig. 10.23, *a*) este format din roțile dințate z_1 și z_2 montate pe arborele conducător *I*, respectiv cel condus *II* și roțile dințate intermediare z_0, respectiv z_0' montate în placa *1* care se poate bascula în jurul arborelui condus cu ajutorul brațului 2. Cînd brațul 2 este deplasat în jos, arborele conducător și cel con-

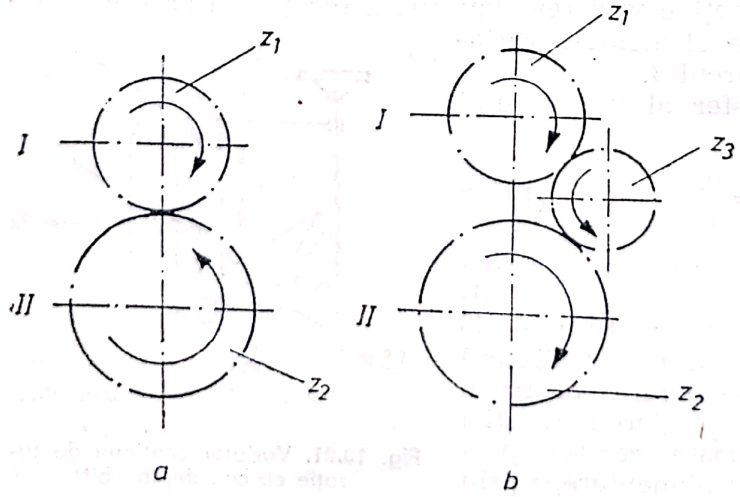


Fig. 10.22. Principiul inversării sensului de rotație cu roată intermediară.

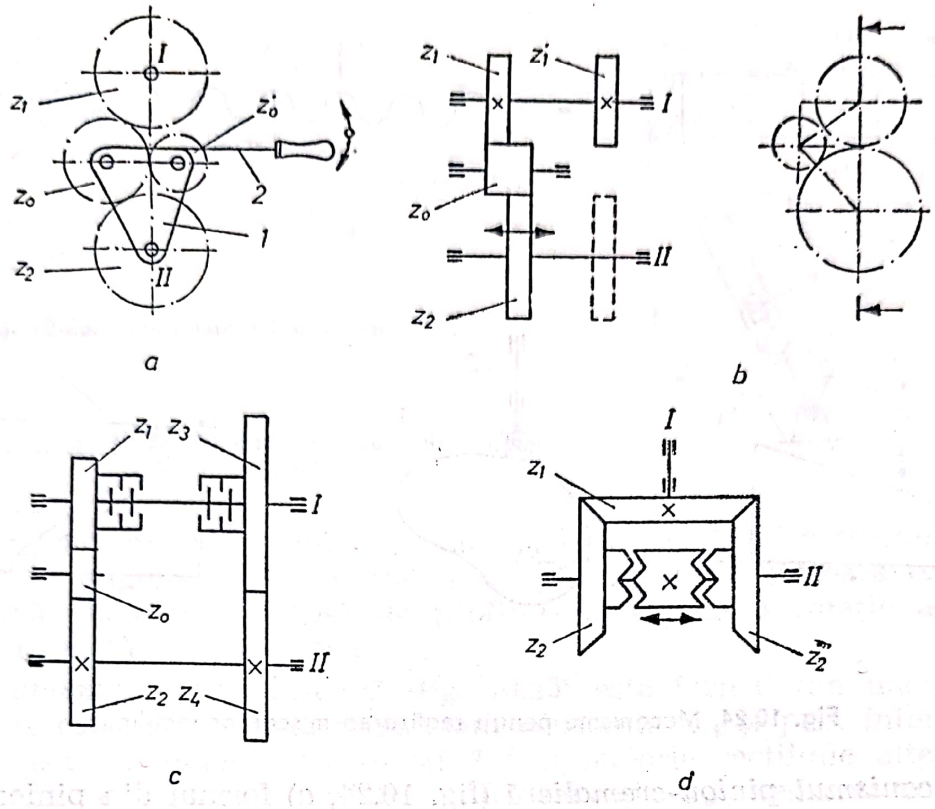


Fig. 10.23. Mecanisme pentru inversarea sensului de rotație.

dus au același sens de rotație. Prin ridicarea brațului 2 roata intermediară z_0' angrenează cu roata z_1, iar z_0 iese din angrenarea cu z_1. Datorită acestui lucru arborele condus va avea sens de rotație opus.

Mecanismul inversor cu roată dințată baladoare (fig. 10.23, *b*) se compune din roțile dințate z_1 și z_1' fixe pe arborele conducător *I*, roata intermediară z_0 și roata baladoare z_2 (care se poate angrena cu roata intermediară z_0 sau cu roata z_1'). Turațiile în cele două sensuri sînt aceleași.

Mecanismul inversor cu cuplaj (fig. 10.23, *c*) poate realiza pe arborele condus turații de sens contrar egale sau diferite ca valoare absolută. În locul cuplajului cu lamele se poate folosi și un cuplaj cu ghiare.

Mecanismul inversor cu roți conice (fig. 10.23, *d*) se compune din roata dințată conică z_1 fixă pe arborele *I* și roțile conice z_2 , respectiv z_2' libere pe arborele *II*. Prin deplasarea cuplajului spre stînga sau spre dreapta se asigură solidarizarea roții z_2, respectiv z_2' cu arborele *II*, realizîndu-se cele două turații de sensuri opuse.

10.2.5. MECANISME PENTRU REALIZAREA MIȘCĂRII RECTILINII

În lanțurile cinematice ale mașinilor-unelte sînt necesare și mecanisme care realizează mișcări rectilinii. Aceste mecanisme pot fi mecanice sau hidraulice. (În ultimul timp au început să apară și motoarele electrice cu mișcare rectilinie, acestea nefiind însă utilizate la acționarea mașinilor-unelte).

Mecanismele mecanice utilizate pentru realizarea mișcărilor rectilinii sînt niște mecanisme care transformă mișcarea de rotație în mișcare de translație.

Scanned with OKEN Scanner

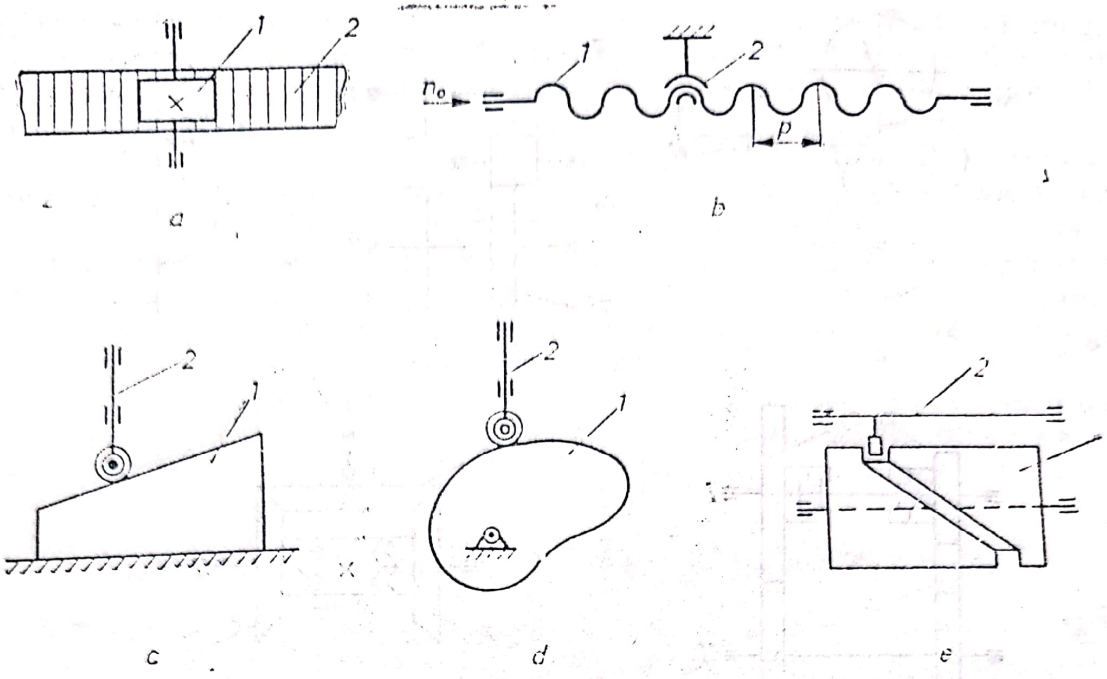


Fig. 10.24. Mecanisme pentru realizarea mișcărilor rectilinii.

Mecanismul pinion-cremalieră (fig. 10.24, *a*) format din pinionul *1* și cremaliera *2* este unul dintre cele mai simple mecanisme pentru realizarea mișcării rectilinii. Se utilizează în două variante: solidarizînd fie cremaliera fie lagărul pinionului cu ansamblul mașinii-unelte care execută mișcarea rectiliniu. Viteza elementul mobil este egală cu viteza periferică a cercului de divizare a roții dințate: $v = \pi \cdot m \cdot z_1 \cdot n_0$. Acest mecanism nu se folosește la realizarea deplasărilor cu viteze mici.

Mecanismul melc-cremalieră este similar cu mecanismul pinion-cremalieră, doar că în locul pinionului se folosește un șurub melc care angrenează cu cremaliera, aceasta din urmă avînd dinți drepți sau înclinați. La acest mecanism cremaliera este fixată de ansamblul mașinii-unelte care execută mișcarea rectilinie. Prezintă avantajul că transmite puteri mari și asigură mișcări uniforme.

Mecanismul șurub-piuliță (fig. 10.24, *b*) se compune din șurubul *1* și piulița *2*. Mecanismul se folosește în patru variante constructive:

— șurubul execută mișcarea de rotație, iar piulița pe cea de translație (șurubul se rotește dar nu se poate deplasa axial, piulița se deplasează axial dar nu se poate roti);

— șurubul se rotește și se deplasează, piulița este fixă;

— piulița se rotește și șurubul se deplasează;

— piulița se rotește și se deplasează, șurubul este fix.

Mecanismul asigură deplasări mici și foarte mici cu precizii foarte ridicate, viteza de deplasare a organului mobil fiind $v = n_0 \cdot p$.

Mecanismele cu camă și tachet se folosesc în diferite variante constructive. În acționarea mașinilor-unelte se utilizează cele cu camă plană (fig. 10.24, *c*), cu camă disc (fig. 10.24, *d*) și cele cu camă cilindrică (fig. 10.24, *e*). Cama plană *1* are forma unei pene și execută o mișcare rectilinie alternativă. Tachetul *2* execută o mișcare rectilinie cu o viteză constantă sau variabilă în funcție de profilul camei.

Scanned with OKEN Scanner

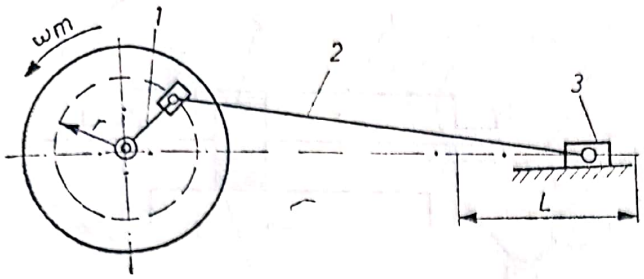


Fig. 10.25. Mecanismul bielă-manivelă.

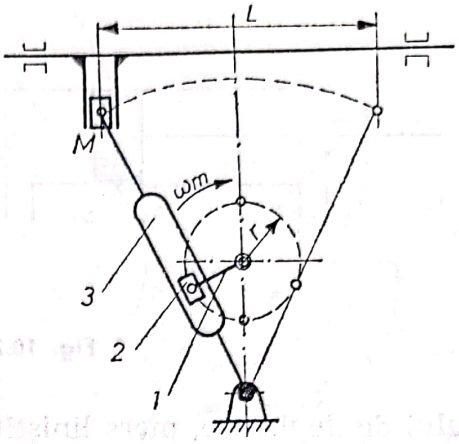


Fig. 10.26. Mecanismul cu culisă oscilantă.

La mecanismele cu camă disc sau camă cilindrică, mișcarea de rotație cu o viteză unghiulară constantă se transformă într-o mișcare rectilinie alternativă cu viteză impusă de profilul camei. La o rotație a camei tachetul execută o cursă dublă.

Mecanismul bielă-manivelă (fig. 10.25) este format din manivela *1* care se rotește cu o viteză unghiulară constantă ω_m și prin intermediul bielei *2* asigură elementului mobil *3* o traiectorie rectilinie alternativă cu o viteză de deplasare variabilă între zero și v_{max}. Reglarea cursei de lucru L se asigură prin varierea corespunzătoare a brațului manivelei.

Acest mecanism asigură automat inversarea sensului de deplasare.

Mecanismul cu culisă oscilantă (fig. 10.26) constă din manivela *1* care se rotește cu viteza unghiulară constantă ω_m, piatra de culisă *2* care alunecă în ghidajele culisei *3*. La o rotație a manivelei capătul *M* al culisei asigură organului mobil o mișcare rectilinie alternativă de lungime *L*. Mărimea cursei *L* se reglează prin alegerea corespunzătoare mărimii *r* a manivelei. Cu toate că viteza unghiulară a manivelei este constantă, viteza de deplasare a organului mobil este variabilă.

Mecanismele cu culisă oscilantă se execută în mai multe variante constructive (fig. 10.27).

Mecanismele hidraulice pentru realizarea mișcărilor rectilinii sînt foarte des întîlnite în construcția mașinilor-unelte datorită avantajelor pe care le prezintă (viteză constantă de deplasare a elementului mobil, posibilitate de reglare continuă a vitezei de deplasare, inversare ușoară a sen-

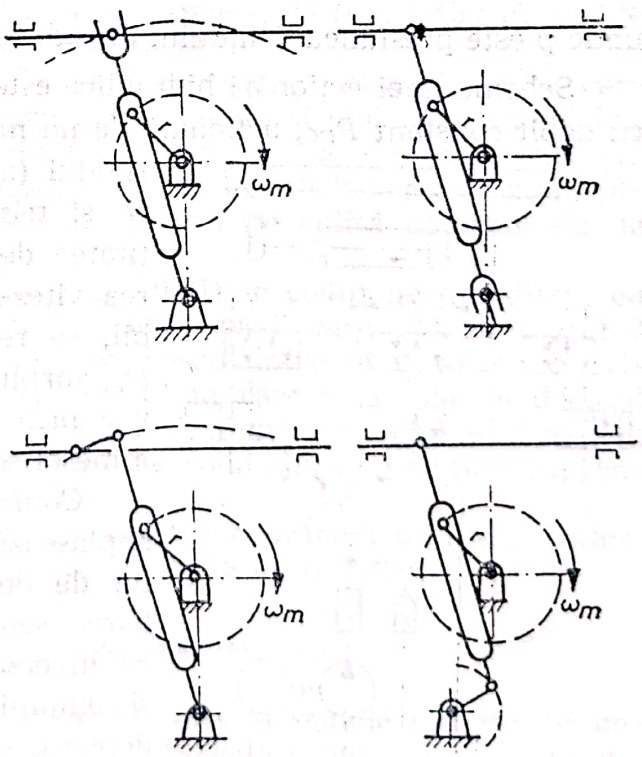


Fig. 10.27. Variante constructive de mecanisme cu culisă oscilantă.

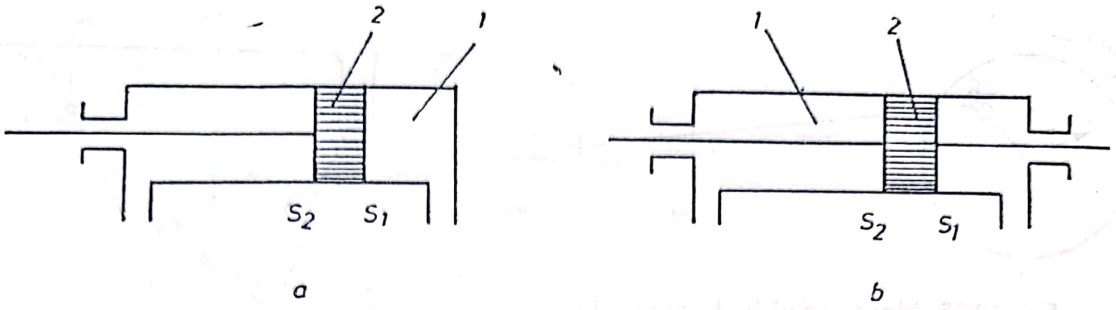


Fig. 10.28. Motoare hidraulice.

sului de deplasare, mers liniştit şi fără zgomot, protecţie simplă împotriva suprasarcinilor, posibilitate de a realiza cicluri de funcţionare automate).

Elementul principal al mecanismului hidraulic este motorul hidraulic format din cilindrul *1* şi pistonul *2* (fig. 10.28). În general cilindrul este fix, iar pistonul legat de organul mobil a maşinii-unelte care execută mişcarea rectilinie alternativă.

Viteza de deplasare a elementului mobil este funcţie de debitul lichidului Q introdus în cilindrul hidraulic şi de secţiunea activă a pistonului S, dată de relaţia:

$$v = \frac{Q}{S}. \tag{10.28}$$

Forţa dezvoltată de motorul hidraulic se calculează cu expresia:

$$F = p \cdot S, \tag{10.29}$$

unde p este presiunea lichidului introdus în cilindrul hidraulic.

Schema unei acţionări hidraulice este indicată în figura 10.29. Pompa cu debit constant P_{DC}, acţionată de un motor electric asincron M_E, aspiră fluidul (agentul hidraulic) din rezervorul R_z şi trimite (refulează) în sistem. Cantitatea de fluid, necesară pentru realizarea vitezei de deplasare a organului mobil, se reglează cu ajutorul unui drosel D_R, surplusul de lichid revenind în rezervor prin supapa S. Sensul de deplasare a mesei se reglează cu inversorul I.

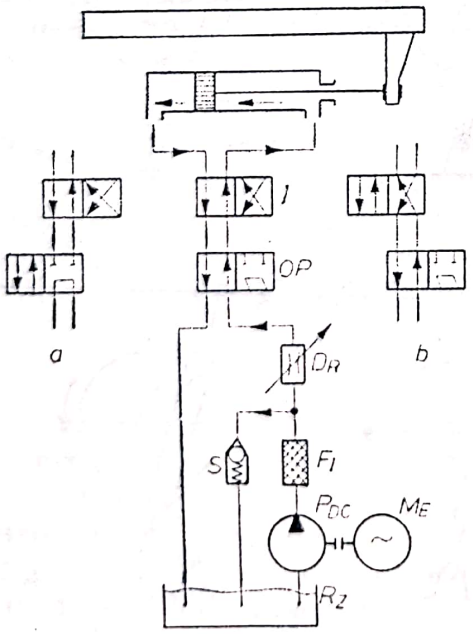


Fig. 10.29. Schema unei acţionări hidraulice.

Conform schemei din figură masa se deplasează spre stînga. Inversarea sensului de deplasare se asigură prin schimbarea sensului de deplasare a lichidului cu inversorul I (vezi schema *b*). Oprirea sistemului se realizează cu sertăraşul OP deplasat spre stînga (schema *a*).

Prin supapa S se reglează şi presiunea de lucru din circuitul hidraulic.

Scanned with OKEN Scanner

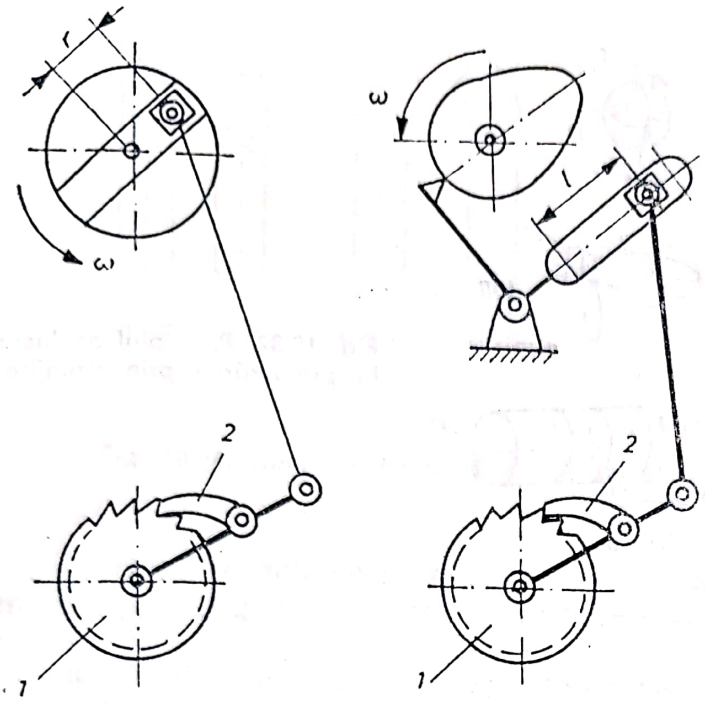


Fig. 10.30. Mecanisme cu clichet.

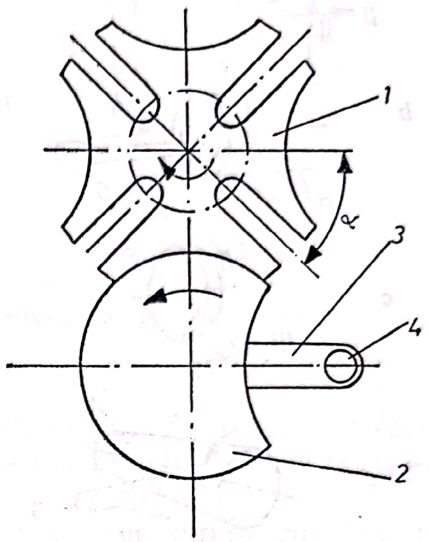


Fig. 10.31. Mecanism cu crucea de Malta.

10.2.6. MECANISME PENTRU REALIZAREA MIȘCĂRII INTERMITENTE

Aceste mecanisme se folosesc mai mult în lanțurile cinematice de avans cînd sînt necesare mișcări periodice.

Mecanismul cu clichet (fig. 10.30) format din roata de clichet *1* și clichetul *2* fixat pe un braț, care se poate oscila în jurul axei roții de clichet, este acționat de un mecanism bielă-manivelă (fig. 10.30, *a*) sau de o camă prin intermediul unei culise (fig. 10.30, *b*).

Într-un sens de deplasare clichetul antrenează roata de clichet care este solidarizată cu șurubul de antrenare a organului mobil, iar în celălalt sens clichetul sare peste dinții roții de clichet fără să antreneze șurubul. Mărimea unghiului cu care se rotește roata de clichet este funcție de mărimea r a manivelei sau de poziția pietrei pe culisă determinată de lunginea l.

Mecanismul cu cruce de Malta (fig. 10.31) se compune din discul cu crestături *1* denumit crucea și discul antrenor *2* care posedă brațul *3* avînd la capăt rola *4* montată pe un cep. Discul antrenor se rotește cu viteza unghiulară constantă și în momentul în care rola vine în dreptul unei crestături, brațul antrenează crucea și rotește cu unghiul 2α. Din acest moment crucea rămîne fixă pînă ce rola ajunge din nou în contact cu crestătura următoare a discului *1*.

Mecanismul este utilizat pentru realizarea mișcărilor de rotație intermitente cu unghiuri constante (în mecanismele de divizare).

10.2.7. STRUNJIREA

10.2.7.1. **Procesul prelucrării prin strunjire și sculele folosite.** Strunjirea este operația de prelucrare mecanică folosită în general pentru obținerea corpurilor de rotație. La strunjire piesa execută mișcarea principală de rotație, iar scula pe cea de avans.

Scanned with OKEN Scanner

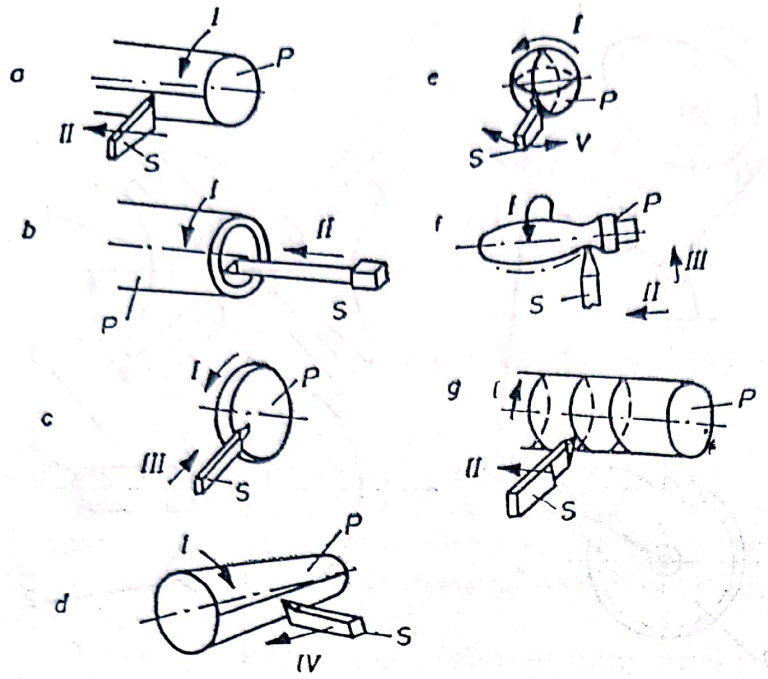


Fig. 10.32. Principiul de lucru la prelucrările prin strunjire.

La strunjirea suprafețelor cilindrice exterioare (fig. 10.32, *a*) sau interioare (fig. 10.32, *b*) piesa *P* execută mișcarea principală de așchiere *I* (mișcarea de rotație), iar scula *S* pe cea de avans longitudinal *II*. Prin strunjire se pot realiza și suprafețe plan (fig. 10.32, *c*) dacă piesa *P* execută mișcarea principală de rotație *I* iar scula *S* mișcarea de avans transversal *III*. Dacă mișcarea de avans *IV* se execută sub un unghi oarecare față de axa de rotație a piesei, rezultă după prelucrare o suprafață conică (fig. 10.32, *d*).

Combinînd mișcarea de avans longitudinal *II* cu cel transversal *III*, după anumite legi, pot fi obținute suprafețe profilate (fig. 10.32, *f*) sau chiar suprafețe sferice (fig. 10.32, *e*). Tot prin strunjire se poate realiza și filetarea (fig. 10.32, *g*) dacă mișcarea de avans longitudinal este corelată cu mișcarea principală de așchiere în așa fel ca la o rotație a piesei scula să se deplaseze cu un pas. Așchierea pe strung se realizează cu ajutorul cuțitului de strung, numit și sculă cu un singur tăiș. Aceste scule pot fi clasificate după mai multe criterii:

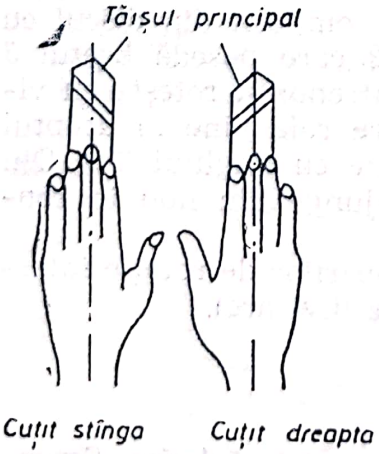


Fig. 10.33. Denumirea cuțitelor în funcție de sensul avansului.

a) După sensul avansului de lucru pot fi cuțite pe dreapta sau cuțite pe stînga. Dacă se suprapune palma mîinii peste corpul cuțitului (mîna dreaptă la cuțitul dreapta și cea stîngă pentru cuțitul stînga) astfel ca degetele să fie îndreptate spre vîrful acestuia (fig. 10.33), tăișul principal se află pe partea degetului mare. Cuțitul dreapta lucrează cu avans de la dreapta spre stînga, iar la cuțitul stînga sensul avansului este de la stînga la dreapta:

b) În funcție de forma capului și poziția acestuia în raport cu corpul, cuțitele se împart în drepte, încovoiate, cotite și cu cap îngustat (fig. 10.34);

Scanned with OKEN Scanner

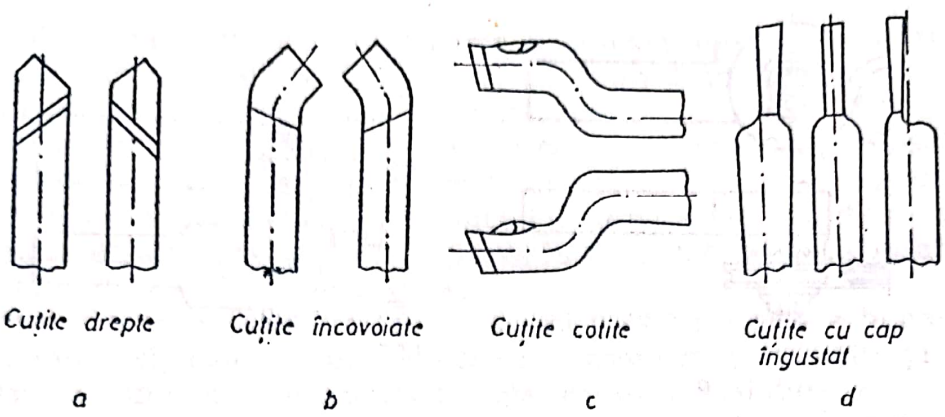


Fig. 10.34. Tipuri de cuțite în funcție de forma capului și poziția acestuia în raport cu corpul.

c) *După caracterul prelucrării* cuțitele de strung pot fi de diferite forme și tipuri (fig. 10.35) astfel concepute încît să permită prelucrări cît mai variate prin strunjire;

d) *După felul materialului* cuțitele pot fi monobloc, sudate cap la cap și cu plăcuțe.

La cuțitele monobloc atît capul cît și corpul sculei sînt executate din același material. Aceste scule se confecționează în general din oțel carbon de scule, sau oțel rapid în cazul sculelor de dimensiuni mici.

La cuțitele de dimensiuni mari nu este economic să se facă din oțel rapid și coada sculei. În acest caz doar partea activă a sculei se execută din oțel rapid, coada confecționîndu-se din oțel carbon de calitate, cele două părți sudîndu-se cap la cap.

În prezent sînt cele mai frecvent folosite cuțitele cu plăcuțe din carburi metalice respectiv mineralo-ceramice. Plăcuțele de aliaj dur pot fi

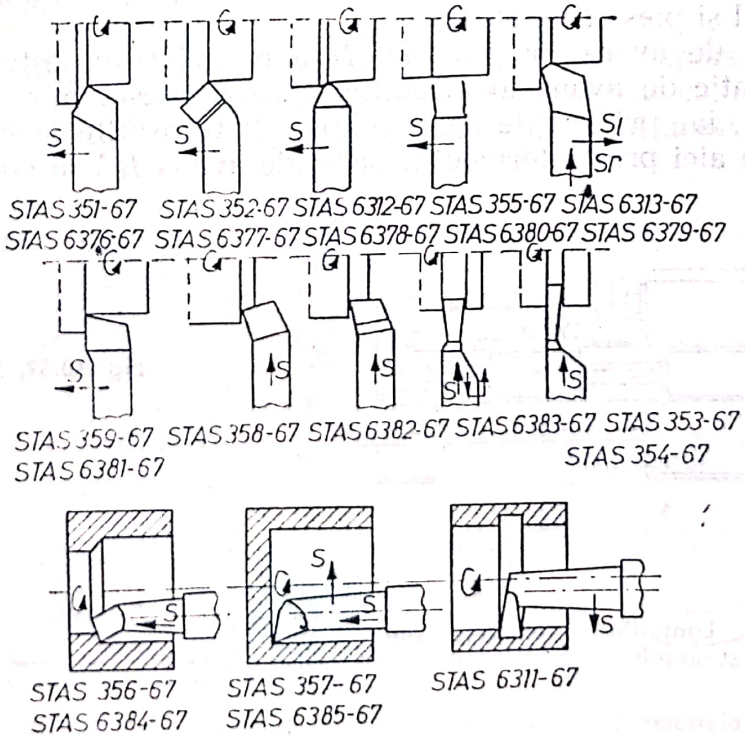


Fig. 10.35. Principalele forme de cuțite de strung.

Scanned with OKEN Scanner

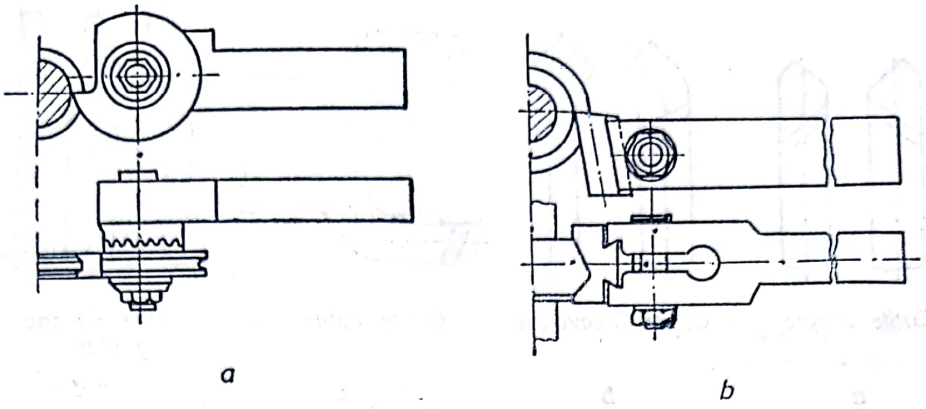


Fig. 10.36. Cuțite profilate.

fixate de suport prin lipire sau prin fixare mecanică. Plăcuțele mineraloceramice se solidarizează cu corpul sculei doar prin fixare mecanică;

e) În funcție de destinația lor cuțitele pot fi normale, speciale sau profilate.

Cuțitele profilate se caracterizează prin aceea că pe fața de așezare a sculei se imprimă negativul piesei de realizat. Cuțitele profilate după formă pot fi cuțite disc profilate (fig. 10.36, *a*) și cuțite prismatice profilate (fig. 10.36, *b*). Aceste scule asigură o prelucrare de precizie cu productivitate ridicată, dar au un cost relativ ridicat. Din acest motiv se folosesc doar în producția de serie sau de masă.

10.2.7.2. **Strungurile normale.** Sînt mașinile-unelte cele mai vechi și în același timp cele mai folosite în industrie. La strungurile normale (fig. 10.37) mișcarea principală de așchiere *I* este executată de piesa fixată în universalul strungului care se rotește împreună cu axul principal.

Mișcarea principală de așchiere este realizată de lanțul cinematic principal format din motorul electric de acționare, cutia de viteze *CV*, axul principal și piesa (fig. 10.38).

Mișcarea de avans longitudinal *II* a căruciorului este asigurată de lanțul cinematic de avans longitudinal care primește mișcarea din cutia de viteză *CV*, iar prin roțile de schimb *A/B* transmite la cutia de avansuri *CA* și de aici prin intermediul barei de avans *BA* la cutia căruciorului

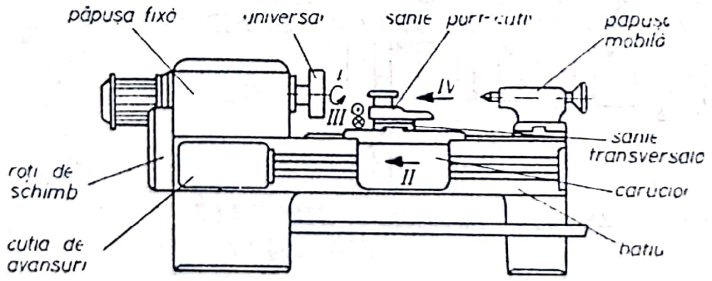


Fig. 10.37. Strungul normal.

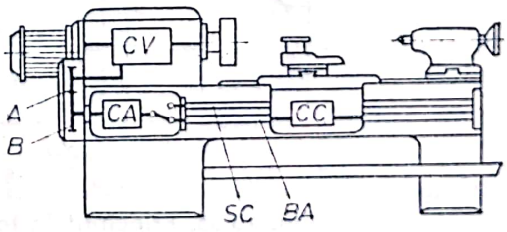


Fig. 10.38. Lanțurile cinematice ale strungului normal.

lui *CC*. Din cutia căruciorului mișcarea se transmite, cu ajutorul unor angrenaje, la mecanismul pinion-cremalieră care transformă mișcarea de rotație în mișcarea de translație a căruciorului.

Avansul transversal *III*, realizat de sania transversală, se asigură de lanțul cinematic de avans transversal care este comun cu cel longitudinal pînă la cutia căruciorului. De aici mișcarea se transmite la șurubul saniei transversale care asigură deplasarea transversală prin intermediul piuliței solidarizate de această sanie.

Lanțul cinematic de avans *IV* al saniei port cuțit este acționat în general manual și este format dintr-un mecanism șurub-piuliță pentru transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație.

Strungurile normale au și un lanț cinematic de filetare, prin care se asigură deplasarea sculei cu un pas la o rotație a piesei. Lanțul cinematic de filetare este comun cu cel de avans pînă la cutia de avansuri. De aici mișcarea se transmite la cărucior prin șurubul conducător *ȘC* și piulița zăvor (piuliță din două bucăți ca să se poată cupla sau decupla de șurubul conducător).

În funcție de calitatea materialului sculei și natura materialului de prelucrat sînt necesare diferite viteze de așchiere, ceea ce se poate asigura în conformitate cu relația (10.1) la diferite turații ale axului principal. Aceste turații diferite sînt asigurate de cutia de viteze, formată dintr-o serie de mecanisme cu roți dințate baladoare legate în serie (fig. 10.39).

Pe arborele *I* și *II* al cutiei de viteze se montează mecanismul de inversare a sensului de rotație care este acționat în general de un cuplaj cu lamele. Pe arborele *II* și *III* există un mecanism cu balador triplu. De la arborele *III* mișcarea se transmite la arborele *IV* printr-un mecanism cu balador dublu. Prin urmare la arborele *IV* pot rezulta șase turații diferite. În continuare mișcarea se transmite de la arborele *IV* la arborele *V* tot printr-un mecanism cu balador dublu, asigurînd la axul principal al strungului un număr de 12 turații diferite.

Turația dorită la axul principal se asigură prin deplasarea baladoarelor (comutarea baladoarelor) cu ajutorul manetelor de comandă în funcție de indicațiile înscrise pe plăcuțele aflate în dreptul acestor manete.

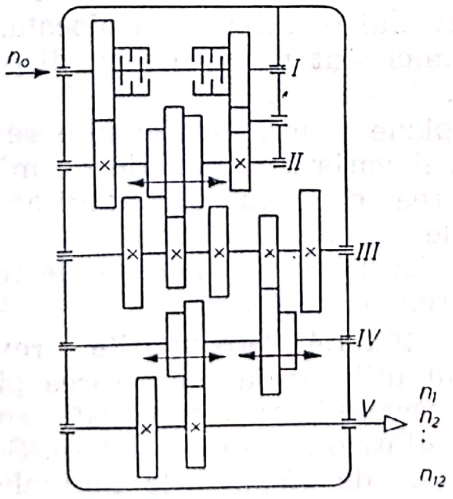


Fig. 10.39. Cutia de viteză.

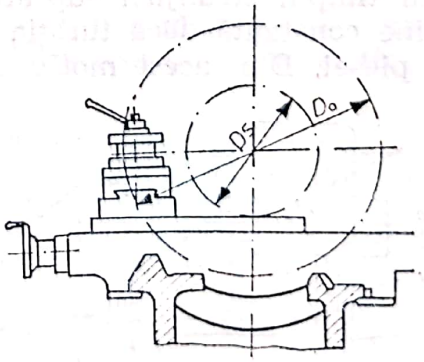


Fig. 10.40. Diametrele maxime deasupra batiului și saniei transversale.

Scanned with OKEN Scanner

Dimensiunile caracteristice ale strungurilor sînt distanța maximă între vîrfuri (la poziția extremă a păpușii mobile), diametrul maxim deasupra batiului D_0 și diametrul maxim ce se poate prelucra deasupra saniei transversale D_s (fig. 10.40).

În funcție de diametrul maxim ce se poate prelucra deasupra batiului, strungurile se împart în strunguri mici ($D_0 < 250$ mm), strunguri normale ($D_0 = 250 \div 800$ mm), strunguri grele ($D_0 = 800 \div 2\,000$ mm) și strunguri foarte grele ($D_0 > 2\,000$ mm).

Strungurile mici sînt utilizate în mecanică fină. În general sînt montate pe un banc. Aceste strunguri nu au cutie de avans, mărimea avansului dorit se reglează prin roți de schimb.

Strungurile mijlocii în funcție de precizie se împart în strunguri normale și strunguri de finisare. Cele de precizie normală sînt mai răspîndite. Fiind mașini-unelte universale se utilizează în producția de unicate sau de serie mică.

Strungurile de finisare se caracterizează prin aceea că în păpușa fixă se găsește doar axul principal al strungului. Cutia de viteze este plasată în batiul strungului, iar mișcarea se transmite la axul principal cu ajutorul unor curele late (pentru ca vibrațiile să nu se transmită la axul principal).

Strungurile grele sînt antrenate de motoare plasate în afara batiului. Aceste strunguri pot avea mai multe cărucioare sau mai multe sănii port sculă. Mișcările de avans pot fi realizate și de motoare proprii.

10.2.7.3. **Strungurile verificate (carusel).** Sînt utilizate la prelucrarea pieselor grele avînd diametrul mai mare decît lungimea. La aceste strunguri axul principal este vertical, prin urmare platoul pe care se fixează piesa se află în planul orizontal.

Strungurile carusel pot fi cu unul sau doi montanți. În figura 10.41 sînt indicate elementele componente principale ale unui strung carusel cu doi montanți. Platoul împreună cu piesa execută mișcarea principală de rotație *I*, iar cărucioarele și săniile pe cele de avans în direcția orizontală și verticală. La majoritatea strungurilor, sania cărucioarelor verticale se poate deplasa și sub un unghi de pînă la 30—45° față de verticală.

Strungurile carusel pot fi cu traversă mobilă sau cu traversă fixă. Prin deplasarea traversei se realizează doar avansul de potrivire a distanței între piesă și sculă, în timpul lucrului traversa fiind blocată.

Mașinile moderne de dimensiuni mici sînt prevăzute cu dispozitive de copiere și pot lucra în ciclu automat.

În timpul strunjirii suprafețelor plane viteza de așchiere se poate menține constantă dacă turația platoului variază în funcție de mărimea razei piesei. Din acest motiv antrenarea platoului strungurilor verticale se face de un agregat Ward-Leonard sau de motoare electrice de curent continuu.

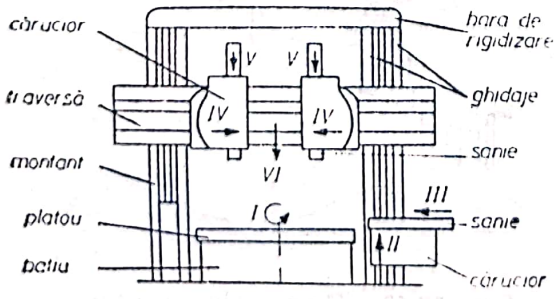


Fig. 10.41. Strungul carusel.

10.2.7.4. **Strungurile revolver.** Sînt utilizate la prelucrarea pieselor de revoluție cu configurație complexă dintr-o singură prindere. Se deosebesc de strungurile normale prin aceea că mai au un cărucior revolver pe care se află capul revolver. În capul revolver, care se poate

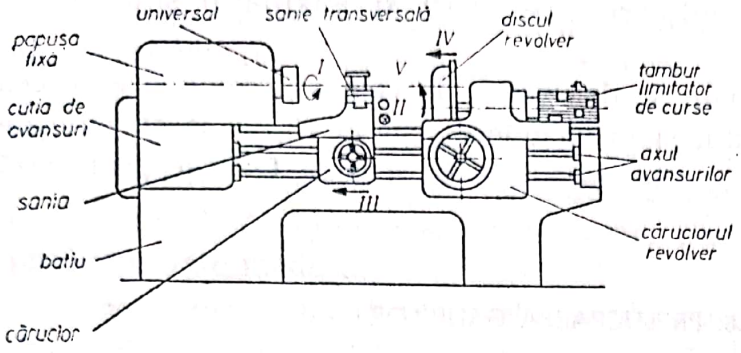


Fig. 10.42. Strungul revolver cu ax orizontal.

roti în jurul axei proprii, se pot fixa mai multe scule care sînt aduse pe rînd în zona de lucru.

Strungurile revolver se clasifică după poziția axei de rotație a capului revolver. Astfel deosebim strunguri revolver cu ax orizontal (denumite strunguri revolver cu disc) și strunguri revolver cu ax vertical (numite și strunguri revolver cu turelă).

Întrucît între cele două tipuri de strunguri nu există altă diferență decît poziția axului capului revolver, în figura 10.42 se prezintă strungul revolver cu disc.

La strungurile revolver în general atît mișcarea principală *I* cît și mișcările de avans sînt obținute de la același motor electric. Lanțurile cinematice de avans primesc mișcarea de la cutia de viteză. Prin intermediul cutiei de avansuri mișcarea ajunge la cutia căruciorului transversal *CT*, de unde se transmite la cărucior care realizează avansul longitudinal *II* și la sania transversală care execută mișcarea de avans transversal *III* (fig. 10.43). Tot de la cutia de avansuri se transmite mișcarea și la cutia căruciorului revolver *CR* care asigură mișcarea de avans longitudinal *IV* a capului revolver și uneori pe cea de avans transversal al acestuia.

Mișcarea de la cutia de avansuri *CA* la cutia căruciorului transversal *CT* și la căruciorul revolver *CR* se poate transmite printr-un singur ax al avansurilor sau de către un ax separat pentru căruciorul transversal *CT* și altul pentru căruciorul revolver *CR*.

Cutiile de viteze ale strungurilor revolver sînt mai simple decît cele ale strungurilor normale, iar domeniul de reglare este mai mic. La aceste strunguri turațiile se pot schimba în timpul mersului. Din acest motiv în locul mecanismelor cu roți dințate baladoare se utilizează mecanisme cu cuplaje cu lamele. Schimbarea turațiilor și a avansurilor se face odată cu rotirea capului revolver, comanda făcîndu-se de opritoarele montate pe tamburul limitator de curse.

Productivitatea strungurilor revolver este mai mare decît a strungurilor normale întrucît lucrează cu mai multe scule, în același timp, deservirea se poate asigura de muncitori cu calificare mai redusă din cauză că poziția sculelor față de piesă se asigură prin reglare prealabilă.

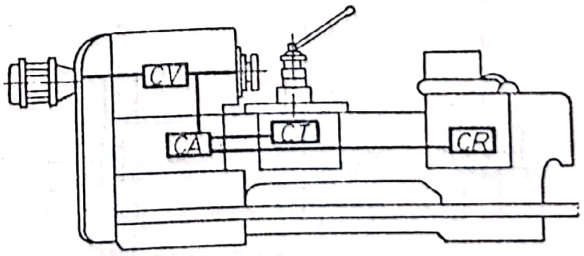


Fig. 10.43. Lanțurile cinematice ale strungului revolver.

10.2.7.5. **Strungurile semiautomate și automate.** Sînt cunoscute și sub denumirea de strunguri cu funcționare automată. La aceste mașini-unelte întregul ciclu de

prelucrare a piesei (toate mișcările de lucru și auxiliare) sînt executate automat.

Strungurile semiautomate se deosebesc de cele automate prin aceea că prinderea semifabricatului și desprinderea piesei finite se execută de muncitor, pe cînd la strungurile automate și această fază se realizează automat.

10.2.8. PRELUCRAREA GĂURILOR

10.2.8.1. **Procesul de prelucrare a găurilor și sculele folosite.** Găurile în funcție de formă, dimensiune, poziție, precum și de rugozitatea suprafeței și precizie dimensională cerută se prelucrează prin diferite procedee de prelucrare cu scule adecvate pe mașinile de găurit. Metodele mai uzuale de prelucrare a găurilor sînt:

— *burghierea,* folosită la executarea unor găuri în material plin cu ajutorul burghiului elicoidal (fig. 10.44, *a*). La această metodă de prelucrare scula execută atît mișcarea principală de așchiere (mișcarea de rotație) cît și mișcarea de avans axial;

— *lărgirea* se folosește la prelucrarea unei găuri obținute prin găurire, turnare sau forjare, în scopul realizării unui alezaj cu diametrul mai mare și precizie mai ridicată. Atît mișcarea principală de așchiere cît și cea de avans axial sînt executate de sculă (fig. 10.44, *b*) care diferă de burghiul elicoidal prin aceea că are trei sau patru tăișuri, respectiv fațete de conducere din care motiv asigură o productivitate și o precizie dimensională mai ridicată;

— *adîncirea* se utilizează atunci cînd se cere realizarea unei găuri (pe o anumită adîncime) coaxiale cu gaura existentă în piesă (fig. 10.44, *c*). Aceste prelucrări se realizează cu ajutorul adîncitoarelor care au dinți așchietori pe partea frontală și un cep de ghidare (din același material cu scula sau demontabil) pentru conducerea sculei;

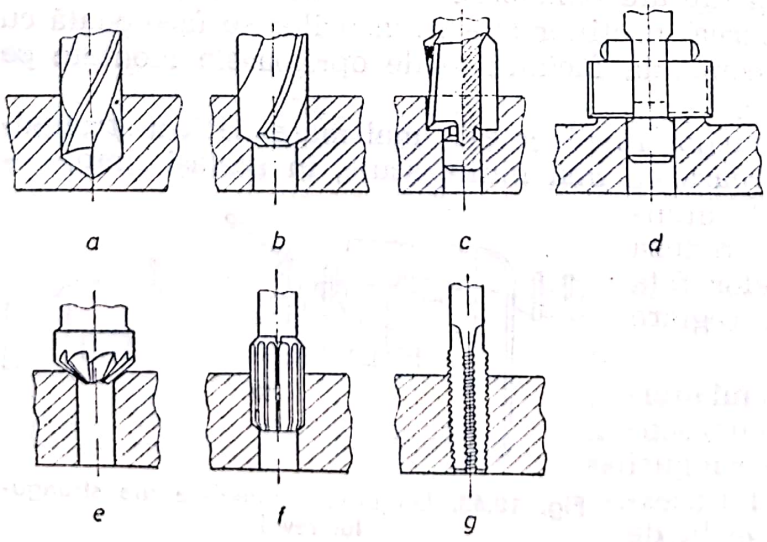


Fig. 10.44. Scule pentru prelucrarea găurilor.

Scanned with OKEN Scanner

— *lamarea* sau *planarea* se utilizează la prelucrarea suprafețelor plane, perpendiculare pe axa găurilor, cum ar fi bosajele (fig. 10.44, *b*). Adîncitoarele de planare seamănă cu adîncitoarele cu cep de ghidare, diferența constînd în lipsa tăișurilor pe partea cilindrică;

— *teșirea* sau *zencuirea* muchiilor găurilor se realizează cu teșitoare conice (fig. 10.44, *e*) care se pot utiliza și pentru adînciri conice, dar cu o productivitate modestă;

— *alezarea* (fig. 10.44, *f*) este operația prin care se poate mări calitatea suprafeței și precizia dimensională a găurilor realizate prin burghiere sau lărgire;

— *filetarea*, mai ales în cazul găurilor de dimensiuni mici, se realizează destul de frecvent cu ajutorul tarozilor (fig. 10.44, *g*) pe mașinile de găurit.

Sculele folosite pentru aceste prelucrări sînt standardizate.

10.2.8.2. **Mașinile de găurit de masă.** Sînt cele mai simple mașini de găurit (fig. 10.45). Se folosesc la găurirea pieselor mici, diametrul maxim de găurire fiind de 10—15 mm. Aceste mașini de găurit sînt montate pe o masă.

Atît mișcarea principală de așchiere *I* cît și mișcarea axială de avans *II* sînt executate de sculă. În majoritatea cazurilor mișcarea de avans se realizează manual. Construcția mașinii permite realizarea avansului de potrivire *III* și *IV* prin deplasarea cutiei de viteze împreună cu axul principal în lungul coloanei și rotirea în jurul acestuia.

10.2.8.3. **Mașinile de găurit cu coloană.** Sînt destinate prelucrării pieselor de dimensiuni mici și mijlocii (fig. 10.46). Diametrul maxim a găurilor ce se pot executa pe aceste mașini de găurit este 40 mm.

Motorul electric acționează axul principal prin intermediul cutiei de viteze. Cutia de avansuri primește mișcarea de la axul principal și printr-un mecanism pinion-cremalieră asigură avansul axial al axului principal în care este fixată scula. Pinionul se poate acționa și manual.

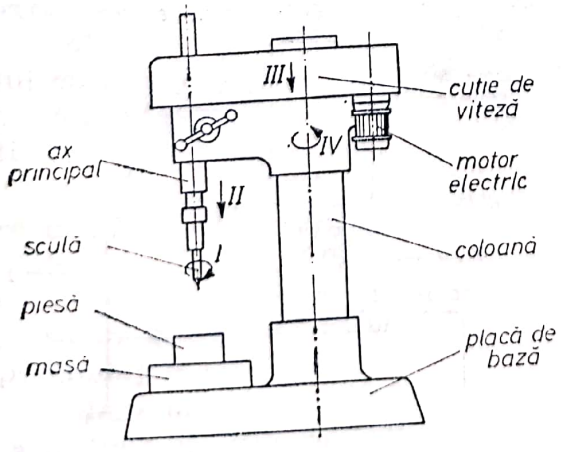


Fig. 10.45. Mașina de găurit de masă.

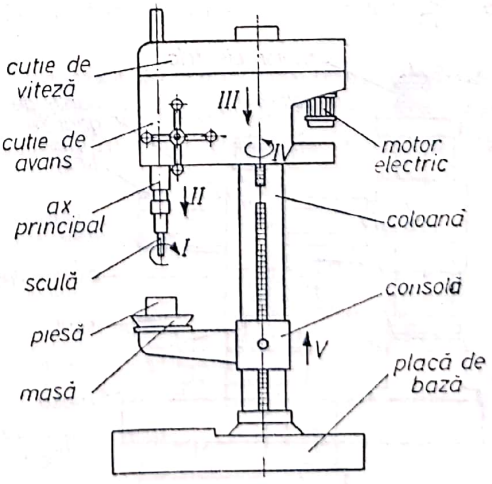


Fig. 10.46. Mașina de găurit cu coloană.

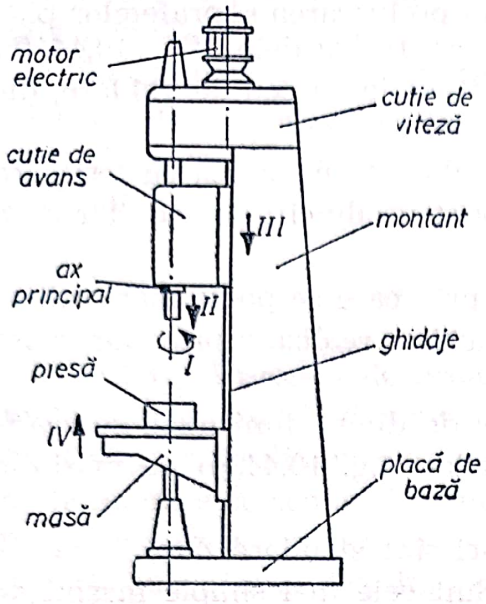


Fig. 10.47. Mașina de găurit cu montant.

Reglarea distanței dintre piesă și sculă (avansul de potrivire) se poate realiza prin deplasarea mesei sau a carcasei cutiei de viteze și de avans în lungul coloanei printr-un mecanism pinion-cremalieră. Atît masa cît și carcasa se pot roti în jurul coloanei.

10.2.8.4. **Mașinile de găurit cu montant.** Se utilizează la găurirea pieselor de mărime mijlocie și grele (fig. 10.47). Aceste mașini de găurit au o rigiditate mai mare din care motiv pot prelucra găuri cu diametrul pînă la 80 mm.

Mașinile de găurit cu montant au aceleași subansambluri ca și mașinile de găurit cu coloană, deosebirea fiindcă în locul coloanei au un montant cu secțiune dreptunghiulară, iar cutia de avansuri este separată de cutia de viteze. Mișcarea de potrivire poate executa atît masa cît și cutia de avansuri, prin deplasarea pe ghidajele verticale ale montantului.

10.2.8.5. **Mașinile de găurit radiale.** Sînt folosite la prelucrarea găurilor în piesele grele care nu se pot deplasa ușor pentru realizarea avansului de potrivire (fig. 10. 48). La aceste mașini de găurit scula se poate deplasa foarte ușor în orice poziție în interiorul zonei de lucru prin deplasarea saniei de găurire pe ghidajele brațului și rotirea brațului în jurul coloanei.

Lanțul cinematic principal și cel de avans axial primesc mișcarea de la un motor electric montat pe sania de găurire. Deplasarea saniei de găurire pe ghidajele brațului, respectiv rotirea brațului în jurul coloanei sînt executate manual. Avansul de potrivire pe verticală se realizează prin deplasarea brațului în lungul coloanei.

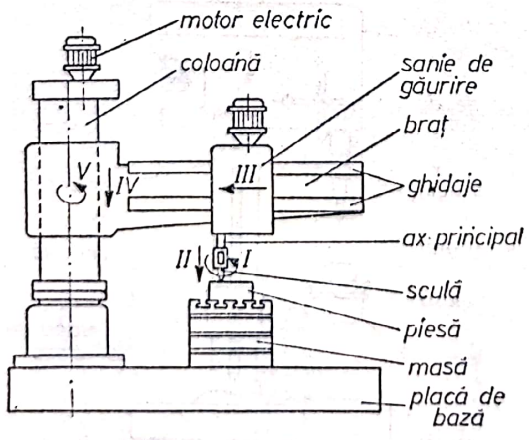


Fig. 10.48. Mașina de găurit radială.

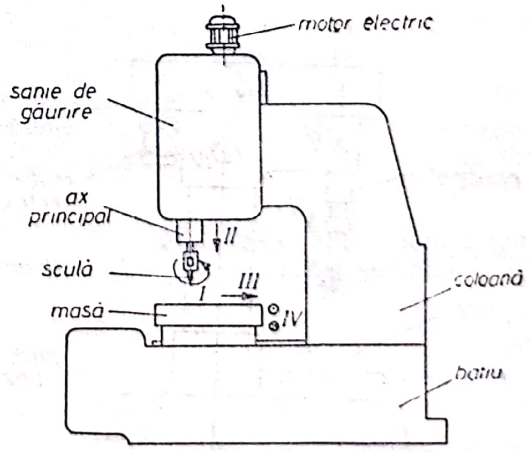


Fig. 10.49. Mașina de gaurit în coordonate cu o coloană.

Scanned with OKEN Scanner

10.2.8.6. **Mașinile de găurit în coordonate.** Sînt utilizate în cazul prelucrărilor de găurire, adîncire, alezare cu toleranțe de execuție de ordinul micronilor. Potrivirea sculei în raport cu piesa se poate asigura prin deplasarea în coordonate rectangulare sau coordonate polare cu o precizie foarte mare. Aceste deplasări precise sînt executate de mecanisme șurub-piuliță foarte precise, controlul deplasărilor făcîndu-se cu bloc de cale și comparator sau prin sisteme optice.

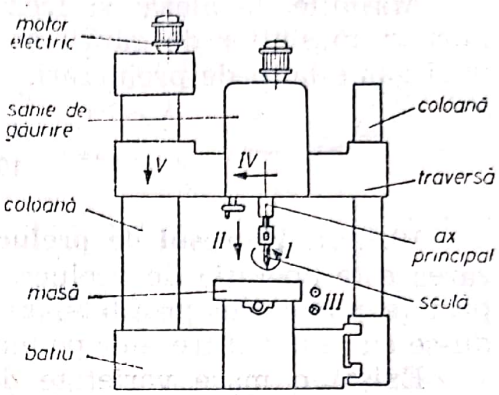


Fig. 10.50. Mașina de găurit în coordonate cu două coloane.

Mașinile de găurit în coordonate pot fi cu o coloană sau cu două coloane.

La *mașinile de găurit în coordonate cu o coloană* (fig. 10.49) sania de găurire se poate deplasa numai în direcție verticală, în timp ce masa de lucru se poate deplasa atît în direcție longitudinală cît și în direcție transversală. Unele construcții au și o masă rotativă.

Mașinile de găurit în coordonate cu două coloane (fig. 10.50), denumite și mașini de găurit și frezat în coordonate, au o rigiditate mai mare. La aceste mașini de găurit sania de găurire se poate deplasa în direcție transversală pe ghidajele traversei. Din acest motiv masa se poate deplasa numai în direcția longitudinală și poate executa o mișcare de avans circular. Traversa poate executa și o mișcare de potrivire pe verticală.

La unele mașini pe una din coloane se găsește o sanie de găurire cu ax principal orizontal.

10.2.8.7. **Mașinile de alezat și frezat orizontale.** Se utilizează în producția de unicate la prelucrarea pieselor grele de tip carcasă, atunci cînd sînt necesare mai multe faze de prelucrare dintr-o singură prindere a piesei. Fiind mașini-unelte cu un grad înalt de universalitate, nu sînt rentabile în producția de serie.

La mașinile de alezat și frezat orizontale (fig. 10. 51) axul principal este dispus orizontal. Pe lîngă mișcarea de rotație, axul principal poate executa și o mișcare de avans axial.

Mișcarea principală a sculei se poate realiza și prin rotirea platoului care este acționat independent de axul principal. La unele mașini pe platou se găsește și o sanie care se poate deplasa în direcție radială în timpul rotirii platoului.

Sania de găurire, care conține axul principal, platoul, cutia de viteze și de avansuri, se poate deplasa în direcție verticală pe ghidajele stîlpului.

Masa mașinii se poate deplasa în direcție longitudinală și transversală, iar unele pot realiza și o mișcare de avans circular.

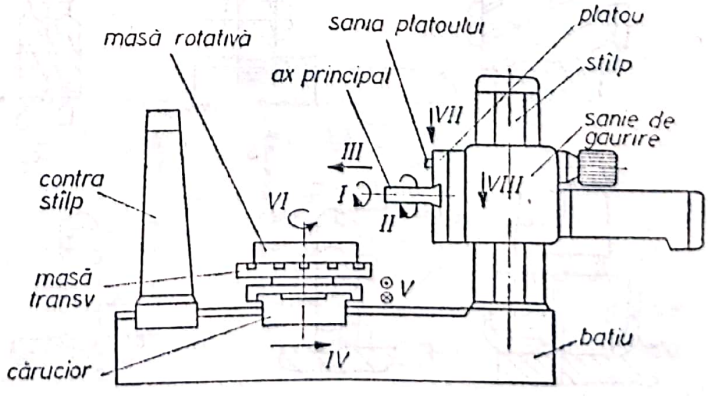


Fig. 10.51. Mașina de alezat și frezat orizontală.

Scanned with OKEN Scanner

Mașinile de alezat și frezat orizontale înglobează avantajele strungurilor, mașinilor de găurit și mașinilor de frezat, permițînd executarea unei game largi de prelucrări.

10.2.9. FREZAREA

10.2.9.1. **Procesul de prelucrare prin frezare și sculele utilizate.** Frezarea este operația de prelucrare mecanică prin care pot fi realizate suprafețe plane sau profilate, îndepărtarea adaosului de prelucrare făcîndu-se cu ajutorul frezelor pe mașinile de frezat.

Există o mare varietate de operații tehnologice ce se pot executa prin frezare și corespunzător acestora diferite tipuri constructive de freze. La toate frezele se găsesc însă elemente comune. Fiecare freză are o parte activă, o parte care asigură fixarea sculei pe mașină și eventual o porțiune de legătură între cele două părți (fig. 10. 52).

După felul suprafețelor pe care sînt dispuși dinții, frezele se împart în: freze cilindrice (fig. 10. 53, *a*), freze disc (fig. 10. 53, *b*), freze cilindrofrontale (fig. 10. 53, *c*), freze frontale (fig. 10.53, *d*), freze unghiulare (fig. 10.53, *e*), freze profilate (fig. 10. 53, *f*).

Frezele se execută cu dinți frezați sau cu dinți detalonați. Frezele cu dinți frezați se utilizează în mod curent datorită avantajelor pe care le au (confecționare simplă, durabilitate ridicată, calitate bună a suprafeței prelucrate, ascuțire simplă, cost relativ scăzut) față de cele cu dinți

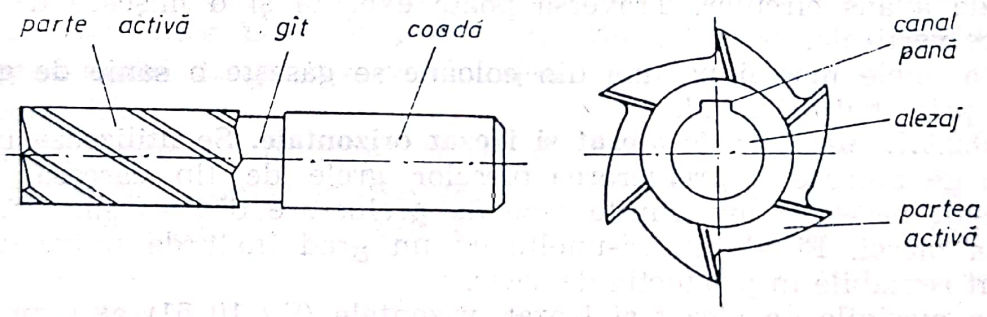


Fig. 10.52. Elementele frezelor.

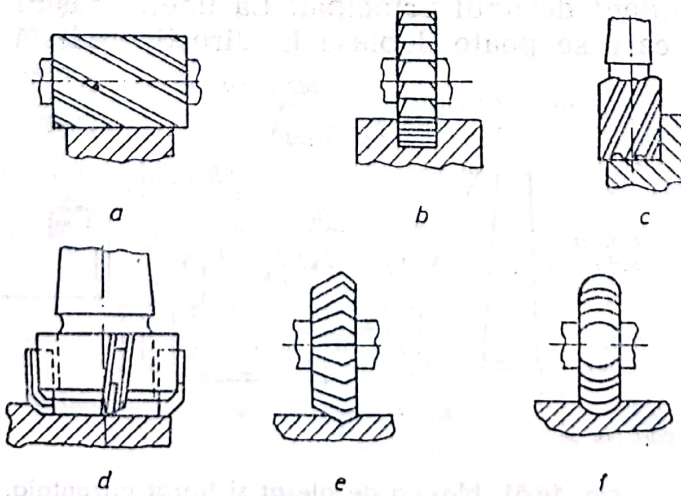


Fig. 10.53. Tipuri constructive de freze.

detalonați. Acestea din urmă se folosesc doar la prelucrarea suprafețelor profilate.

Frezarea se poate executa în sens contrar avansului (fig. 10.54, *a*) sau în sensul avansului (fig. 10.54, *b*), în practică folosindu-se mai frecvent metoda de frezare în sens contrar avansului.

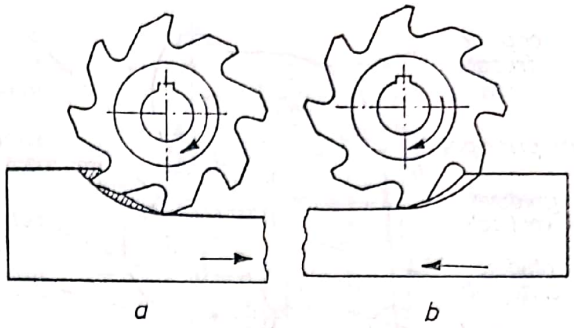


Fig. 10.54. Metode de frezare.

Freza execută mereu mișcarea principală de așchiere (mișcarea de rotație), mișcarea de avans fiind executată în general de piesă. Sînt însă și cazuri cînd mișcarea de avans este executată de sculă (avansul transversal la mașina de frezat de sculărie).

10.2.9.2. **Mașinile de frezat cu consolă.** Sînt cele mai răspîndite mașini de frezat. Se caracterizează prin aceea că masa de lucru este susținută de o consolă. Rezemarea mesei făcîndu-se prin această metodă mai puțin rigidă, aceste mașini sînt destinate prelucrării pieselor mici.

Mașinile de frezat cu consolă pot fi orizontale, verticale și universale.

Mașinile de frezat orizontale (fig. 10. 55) au această denumire întrucît axul principal este orizontal. Mișcarea principală se obține de la un motor electric prin intermediul cutiei de viteze. Mișcările de avans sînt executate de masă în cele trei direcții perpendiculare (longitudinal, transversal, vertical). Acționarea cutiei de viteze și a cutiei de avans se poate face de la un singur motor sau de către motoare proprii.

Dimensiunile caracteristice ale acestor mașini sînt dimensiunile suprafeței mesei și deplasările maxime ale mesei în cele trei direcții.

Mașinile de frezat verticale (fig. 10. 56.) au aceleași părți componente ca și mașinile de frezat orizontale, doar că axul principal este dispus vertical. Din acest motiv partea superioară a corpului mașinii diferă de cele ale mașinilor de frezat orizontale. Realizează aceleași mișcări de lucru ca și mașinile de frezat orizontale.

Mașinile de frezat universale au aceleași elemente componente ca și cele orizontale sau verticale, doar că pot realiza în plus anumite mișcări de reglare suplimentare. Astfel la unele tipuri de mașini masa de lucru se poate roti în plan orizontal pe ghidajele circulare ale saniei transversale în ambele sensuri cu 45°. (Rotirea masei este doar o mișcare de reglare, în timpul lucrului masa se blochează).

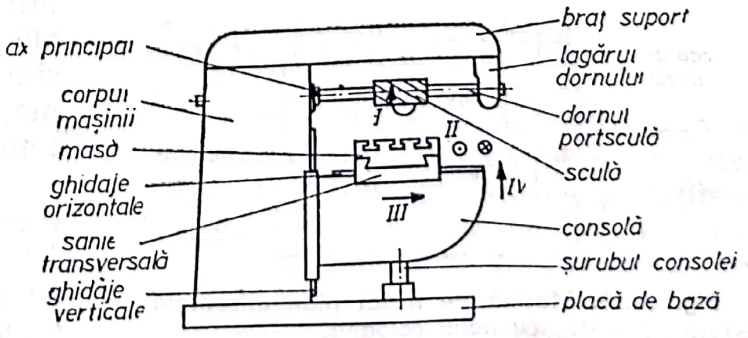


Fig. 10.55. Mașină de frezat orizontală.

Scanned with OKEN Scanner

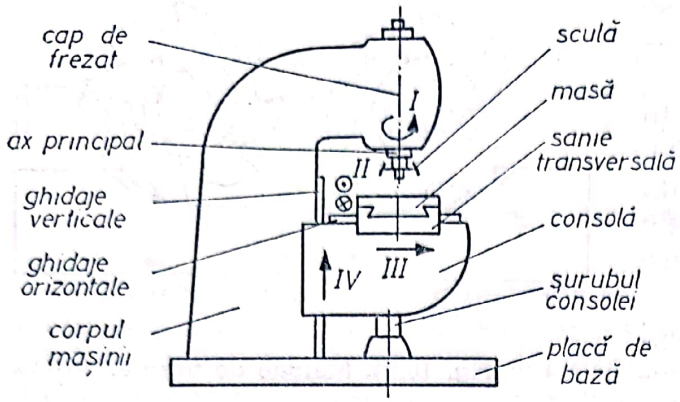


Fig. 10.56. Mașină de frezat verticală.

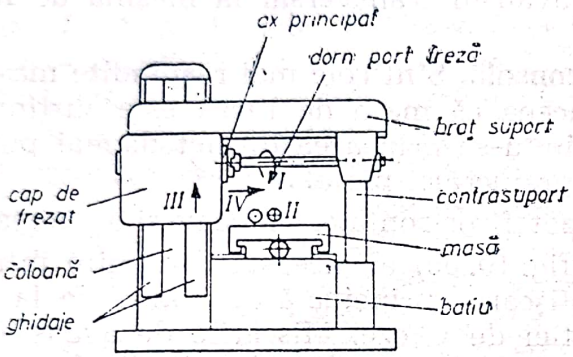


Fig. 10.57. Mașină de frezat plan orizontală cu o coloană și masă deplasabilă în direcție longitudinală.

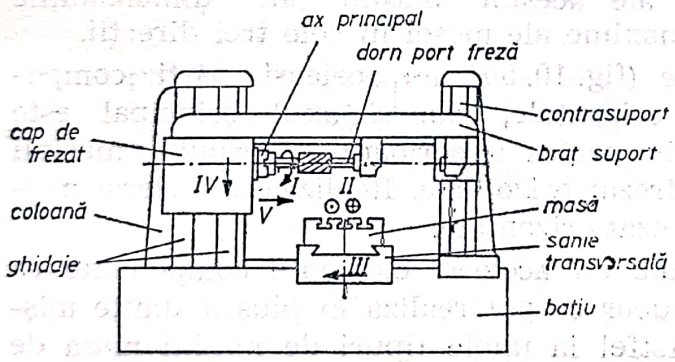


Fig. 10.58. Mașină de frezat plan orizontală cu o coloană și masă deplasabilă în direcție longitudinală și transversală.

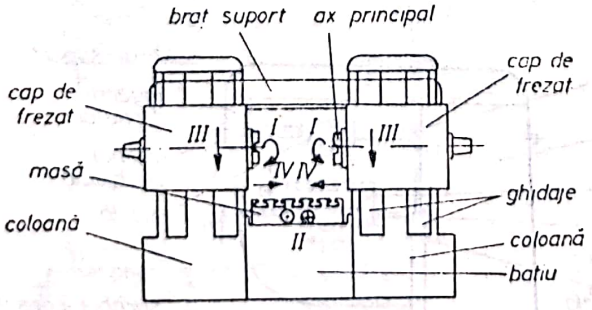


Fig. 10.59. Mașină de frezat plan orizontală cu două coloane.

La alte tipuri de mașini capul de frezat este montat pe o pinolă care se poate roti în jurul axei proprii și se poate deplasa axial în partea superioară a corpului frezei.

Datorită acestor mișcări suplimentare de reglare și accesoriilor principale livrate (capul divizor, masa rotativă), pe mașinile de frezat universale, pe lîngă suprafețele plane și profilate, pot fi prelucrate canale elicoidale, came, roți dințate etc.

10.2.9.3. **Mașinile de frezat plan.** Au o rigiditate mai mare decît cele cu consolă, întrucît masa se deplasează pe un pat fix și este ghidată pe toată lungimea ei.

Mașinile de frezat plan pot fi orizontale și verticale.

Mașinile de frezat plan orizontale pot fi cu o coloană la care masa se poate deplasa doar în direcție longitudinală (fig. 10.57) sau atît în direcția longitudinală cît și transversală (fig. 10.58), respectiv cu două coloane (fig. 10.59) la care masa poate executa doar mișcarea de avans longitudinal.

Mașinile de frezat plan sînt utilizate în producția de serie. Nu se utilizează la prelucrarea pieselor de dimensiuni și forme variate întrucît cursele de reglare ale sculelor față de piesă sînt mici. În schimb aceste mașini asigură o productivitate și o precizie ridicată.

Mașinile de frezat plan verticale (fig. 10.60) sînt astfel construite încît masa se poate deplasa în direcții longitudinale și transversale.

Scanned with OKEN Scanner

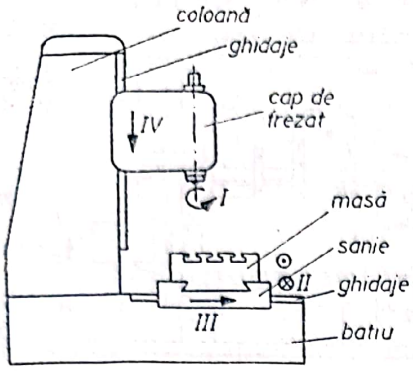


Fig. 10.60. Maşină de frezat plan vertical.

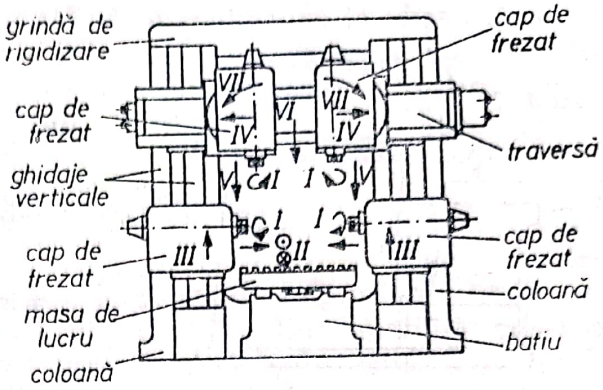


Fig. 10.61. Maşină de frezat longitudinal.

Mişcarea de deplasare pe ghidajele verticale ale capului de frezat este doar o mişcare de potrivire.

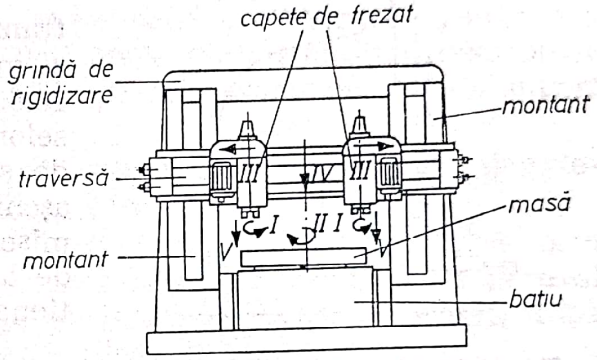


Fig. 10.62. Maşină de frezat circular.

10.2.9.4. **Maşinile de frezat longitudinale.** Sînt utilizate la prelucrarea pieselor mari, cu o productivitate foarte ridicată. Aceste maşini pot fi cu o coloană sau două coloane. Cele mai răspîndite sînt maşinile cu două coloane şi patru capete de frezat (fig. 10.61). La aceste tipuri de maşini piesa execută doar mişcarea longitudinală de avans, iar sculele pe lîngă mişcarea principală de aşchiere execută şi mişcările de avans de potrivire. Capetele de frezat de pe traversă pot fi înclinate prin rotire în nişte ghidaje circulare. Aceste maşini pot lucra simultan chiar cu toate capetele de frezat.

10.2.9.5. **Maşinile de frezat circular.** Se caracterizează prin aceea că masa execută o mişcare de avans circular continuu (fig. 10.62). În timpul rotirii lente a mesei piesele sînt desprinse respectiv fixate în dispozitivele de prindere aflate pe masa maşinii într-un număr mai mare. Aceste maşini se utilizează la frezarea suprafeţelor plane a pieselor de dimensiuni mici şi mijlocii în cazul producţiei de serie mare sau masă. Cu un cap de frezat se poate executa operaţia de degroşare, iar cu celălalt operaţia de finisare a suprafeţei prelucrate.

10.2.10. RABOTAREA

10.2.10.1. **Procesul rabotării.** Prin rabotare pot fi prelucrate suprafeţe plane orizontale, verticale sau înclinate respectiv suprafeţe profilate.

Cuţitele de rabotat au aceleaşi elemente şi geometrie ca şi cuţitele de strung, doar că sînt mai robuste ca acestea întrucît lucrează în condiţii mai grele (lucrează cu şocuri la început de cursă şi cu viteză de aşchiere variabilă în timpul cursei de lucru.).

Prelucrarea prin rabotare se recomandă în cazul pieselor înguste şi lungi cînd este mai productivă decît frezarea.

Scanned with OKEN Scanner

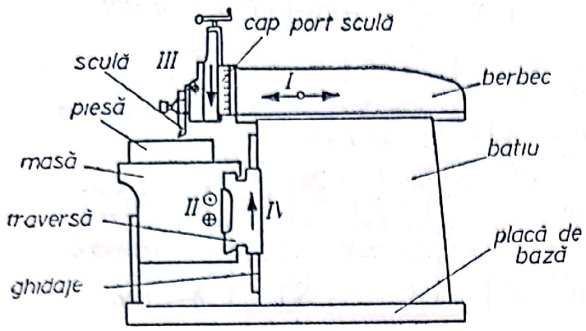


Fig. 10.63. Mașină de rabotat transversal.

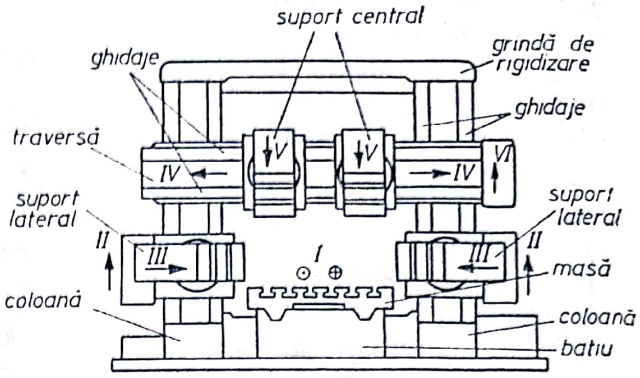


Fig. 10.64. Mașină de rabotat cu masă mobilă.

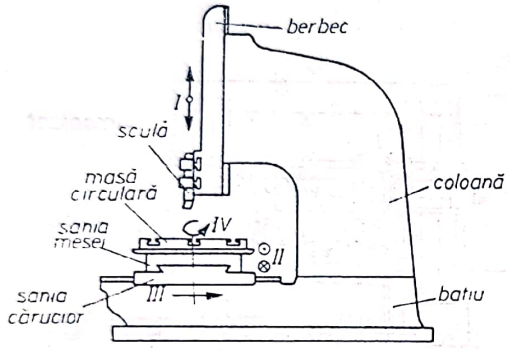


Fig. 10.65. Mașină de mortezat.

10.2.10.2. **Mașinile de rabotat transversal (șepingurile).** Sînt denumite și mașini de rabotat cu cap mobil (fig. 10.63). Se utilizează la prelucrarea pieselor mici în producția individuală sau de serie mică. Mișcarea principală de așchiere *I*, executată de sculă, este o mișcare rectilinie alternativă obținută de la un mecanism culisă-oscilantă acționat printr-o cutie de viteze.

Mișcarea de avans transversal *II* este intermitentă, obținută de la un mecanism clichet-roată de clichet acționat de un mecanism bielă-manivelă. Avansul vertical *III* este realizat de sculă mecanic sau manual, iar avansul pe verticală a mesei *IV* se poate realiza doar manual.

10.2.10.3. **Mașinile de rabotat cu masă mobilă.** Se utilizează la prelucrarea suprafețelor plane sau profilate de lățime mică și lungime mare. Precizia asigurată de aceste mașini este mai mare decît cea obținută pe mașinile de frezat. Aceste raboteze se construiesc cu unul sau doi montanți. Sînt mai frecvente mașinile de rabotat cu doi montanți (fig. 10.64). Mișcarea principală de așchiere *I* este o mișcare rectilinie alternativă executată de masă. Așchierea are loc în timpul deplasării mesei într-un sens (în cursa de lucru). La cursa de întoarcere (cursa de gol) masa se deplasează cu viteză mai mare. La sfîrșitul cursei de gol se asigură mișcarea de avans, care este intermitentă. Suporții laterali se pot deplasa în direcție verticală, iar săniile acestora în direcție orizontală. Suporții centrali se deplasează în direcția orizontală pe traversă, iar săniile acestora în direcție verticală. Mișcarea pe verticală a traversei este mișcarea de potrivire.

10.2.11. MORTEZAREA ȘI MAȘINILE DE MORTEZAT

Prin mortezare se realizează suprafețe interioare plane sau profilate în producția individuală. Mortezele (fig. 10. 65) sînt de fapt niște șepinguri așezate vertical. Mișcarea principală de așchiere este rectilinie alternativă executată de sculă în plan vertical. Așchierea are loc numai în cursa de lucru, de sus în jos.

Scanned with OKEN Scanner

Mişcarea de avans este intermitentă şi se realizează la sfîrşitul cursei de gol. Sincronizarea între mişcarea principală de aşchiere şi mişcarea intermitentă de avans este asigurată de o camă spaţială care acţionează un mecanism cu clichet-roată de clichet.

10.2.12. BROŞAREA ŞI MAŞINILE DE BROŞAT

Operaţia de prelucrare mecanică prin broşare asigură pe lîngă cea mai productivă prelucrare mecanică, o precizie dimensională ridicată şi o calitate superioară a suprafeţei obţinute. Broşele sînt însă scule complicate şi scumpe din care motiv se utilizează doar în producţia de serie mare sau producţia de masă.

La broşare mişcarea principală (care este o mişcare rectilinie) este executată de sculă, iar mişcarea de avans se asigură prin supraînălţarea dinţilor broşei (fiecare dinte este mai mare decît precedentul cu mărimea supraînălţării). La broşare aşchiază mai mulţi dinţi simultan, deci broşa ar putea fi asimilată cu o serie de cuţite de rabotat aşezate pe un suport (fig. 10. 66.).

Prin broşare pot fi prelucrate atît suprafeţe interioare cît şi exterioare. O broşă pentru interior este prezentată în figura 10. 67.

La broşarea interioară piesa trebuie să aibă iniţial o gaură prin care se trece coada broşei, care apoi este fixată în capul de tragere al maşinii de broşat. Piesa fiind sprijinită în dispozitivul de broşat, după tragerea broşei prin semifabricat rezultă piesa finită.

Prin broşare interioară pot fi obţinute găuri cilindrice, poligonale, profilate, canale de pană, caneluri, iar prin broşare exterioară suprafeţe plane, profilate etc.

Maşinile de broşat au o construcţie relativ simplă dar robustă, Aceste maşini trebuie să realizeze doar mişcarea principală de aşchiere, care se asigură printr-un motor hidraulic format dintr-un cilindru şi piston.

Maşinile de broşat se împart în maşini de broşat interior şi maşini de broşat exterior, care pot fi orizontale sau verticale.

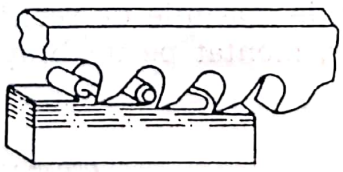


Fig. 10.66. Principiul broşării.

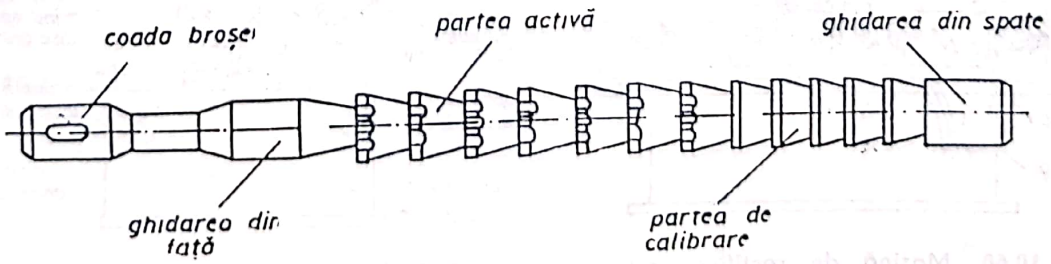


Fig. 10.67. Elementele broşei.

Scanned with OKEN Scanner

10.2.13.1. **Procesul rectificării.** Rectificarea este un procedeu tehnologic de finisare prin care se asigură precizii (dimensionale, de formă și poziție) ridicate și o calitate superioară a suprafeței prelucrate. Mașina-unealtă poate asigura aceste precizii ridicate dacă are un mers liniștit, fără trepidații și o rigiditate ridicată.

Mașinile de rectificat se clasifică în general după forma suprafeței de prelucrat. Astfel avem mașini de rectificat rotund (pentru prelucrarea suprafețelor cilindrice) și mașini de rectificat plan (pentru prelucrarea suprafețelor plane).

10.2.13.2. **Mașinile de rectificat rotund exterioare.** Sînt folosite la prelucrarea suprafețelor cilindrice, conice (cu conicitate mică) și frontale (fig. 10. 68).

Mișcarea principală de așchiere o execută discul abraziv antrenat de un motor electric prin curele trapezoidale. Antrenarea piesei se face de un electromotor separat prin intermediul unei cutii de viteze simplă. Mișcarea de avans longitudinal se realizează cu un motor hidraulic, mai ales la tipurile noi.

10.2.13.3. **Mașinile de rectificat fără vîrfuri.** Se utilizează la prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare cu o mare productivitate (fig. 10.69). La aceste mașini de rectificat piesa nu se fixează între vîrfuri ci se introduce între discul abraziv și discul antrenor care se rotesc în același sens, imprimînd și piesei o mișcare de rotație. Piesa este susținută de rigla de reazem. Avansul axial al piesei se obține datorită înclinării axei discului antrenor cu 1—6°.

10.2.13.4. **Mașinile de rectificat rotund interior.** Se folosesc pentru rectificarea alezajelor cilindrice și conice (fig. 10.70).

Mașinile de rectificat interior sînt similare din punct de vedere constructiv cu cele de rectificat exterior. Diferența constă în aceea că axul portsculă are o turație mai ridicată, iar scula are un diametru mai mic.

10.2.13.5. **Mașinile de rectificat universale.** Sînt folosite la rectificarea suprafețelor cilindrice și conice, exterioare sau interioare, precum și a suprafețelor frontale. Se deosebesc de mașinile de rectificat rotund exterioare prin aceea că posedă în plus, montat pe un braț rabatabil, suportul axului de rectificat interior.

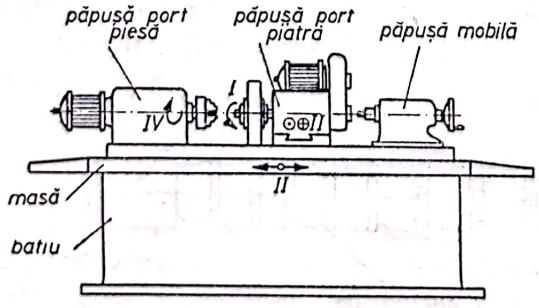


Fig. 10.68. Mașină de rectificat rotund exterior.

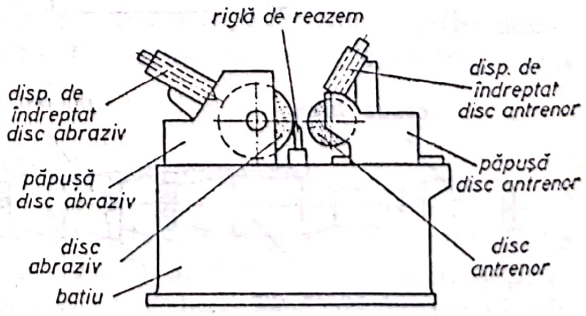


Fig. 10.69. Mașină de rectificat fără vîrfuri.

10.2.13.6. **Maşinile de rectificat plan.** Pot fi orizontale (fig. 10.71, *a*) lucrînd cu periferia discului de rectificat sau verticale (fig. 10.71, *b*) lucrînd cu partea frontală a discului abraziv.

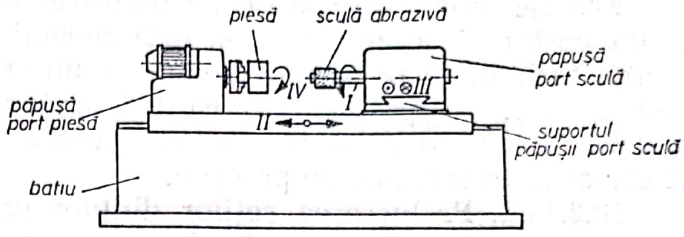


Fig. 10.70. Maşină de rectificat rotund interior.

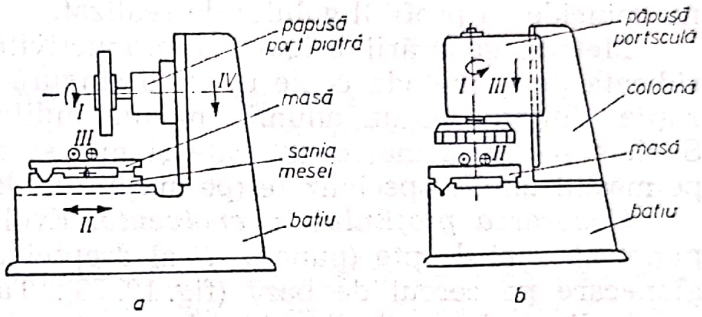


Fig. 10.71. Maşini de rectificat plan.

10.2.14. DANTURAREA ROŢILOR DINŢATE CILINDRICE

Avînd în vedere că în industrie sînt folosite aproape în exclusivitate roţile dinţate cu profil în evolventă, în acest paragraf vor fi tratate sculele şi maşinile de danturat roţi dinţate cu acest profil.

Roţile dinţate pot fi prelucrate prin metoda copierii sau prin metoda generării.

10.2.14.1. **Prelucrarea roţilor dinţate prin metoda copierii.** Metoda a primit denumirea de la faptul că profilul sculei se transpune (se copiază) pe piesă în urma prelucrării.

Prelucrarea se execută cu freza disc modul (fig. 10.72, *a*) sau cu freza deget modul (fig. 10. 72, *b*) pe maşinile de frezat cu consolă. Scula execută mişcarea principală de rotaţie, iar piesa pe cea de avans longitudinal. După prelucrarea unui gol are loc divizarea (rotirea piesei cu un pas unghiular) cu ajutorul divizorului..

La această metodă de prelucrare profilul frezei coincide cu profilul golului dintre doi dinţi a roţii dinţate de prelucrat. Rezultă de aici că, teoretic, pentru fiecare roată dinţată ar fi necesară cîte o freză modul. Avînd însă în vedere că (la un anumit modul şi unghi de angrenare) diferenţele dintre profile la numere de dinţi apropiate sînt mici, practic se foloseşte o freză pentru prelucrarea roţilor dinţate cu numere de dinţi apropiate. În felul acesta cu un set format din 8 freze sau 15 freze (pentru module mari) se pot prelucra toate roţile dinţate indiferent de numărul de dinţi (avînd un anumit modul).

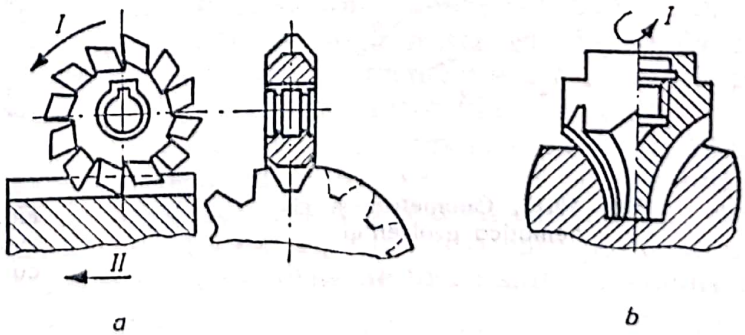


Fig. 10.72. Prelucrarea roţilor dinţate cilindrice prin metoda copierii.

Frezele modul sînt scule de danturat mai simple din care motiv au şi un cost mai scăzut. Nu necesită maşini de danturat speciale, prelucrarea făcîndu-se pe maşini de frezat universale. Precizia asigurată este însă redusă, iar productivitatea prelucrării modestă. Datorită acestor motive metoda se foloseşte în cazul unicatelor sau în reparaţii cînd nu se cer condiţii speciale de precizie.

10.2.14.2. **Prelucrarea roţilor dinţate prin metoda generării.** Metoda generării se bazează pe legile angrenării. Profilul danturii piesei rezultă ca înfăşurătoare a poziţiilor succesive ale tăişurilor sculei în timpul mişcării de rulare ce are loc între piesă şi sculă. Aici profilul sculei nu coincide cu profilul golului de realizat.

Metoda generării asigură o productivitate şi o precizie mult mai ridicată decît metoda copierii; cu o singură sculă pot fi prelucrate toate roţile dinţate de un anumit modul indiferent de numărul de dinţi. Sculele sînt însă mai complicate şi mai scumpe, iar prelucrarea se face pe maşini-unelte specializate (pe maşini de danturat).

Generarea profilului în evolventă. Evolventa este descrisă de un punct al unei drepte (punctul P al dreptei Δ) cînd dreapta rulează fără alunecare pe cercul de bază (fig. 10. 73). Tangenta T la evolventă este perpendiculară pe dreapta Δ. Aceeaşi evolventă se poate genera dacă dreapta Δ rămîne fixă, cercul de bază se roteşte în jurul axei proprii cu viteza unghiulară ω, iar punctul P se deplasează pe dreapta Δ cu viteza $v = R_b \times \omega$ (fig. 10.74).

Dacă se pune în locul tangentei T muchia aşchietoare a unei scule sau partea frontală a unui disc de rectificat (şi acestea execută mişcarea principală de aşchiere), punctul P va genera profilul în evolventă. Dezavantajul acestei metode de generare este că un singur punct al tăişului (punctul P) aşchiază şi din acest motiv scula se uzează rapid. Datorită acestui dezavantaj tangenta T se solidarizează cu drepta NN (fig. 10. 75) şi se deplasează după direcţia acestei drepte. Viteza de deplasare a tangentei v_1 în direcţia dreptei NN trebuie să fie astfel aleasă ca viteza de deplasare a tangentei în direcţia dreptei Δ să fie $v = R_b \cdot \omega$. Se demonstrează (folosind triunghiul de viteze PQP') că $v_1 = R_d \cdot \omega$.

Rezultă din cele mai de sus că profilul în evolventă se poate genera cu aceeaşi tangentă dacă acesta se deplasează în direcţia dreptei NN cu

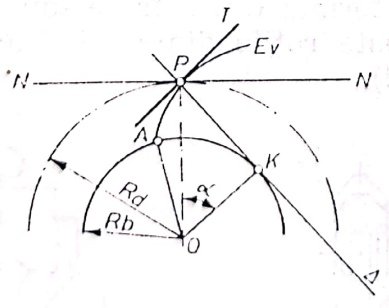


Fig. 10.73. Geometria şi cinematica evolventei.

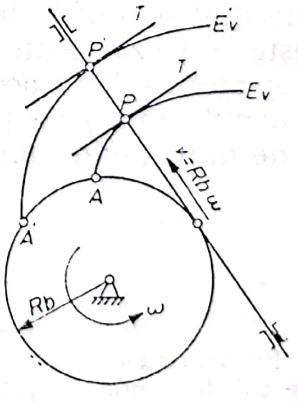


Fig. 10.74. Generarec evolventei prin metoda cu dreaptă mobilă.

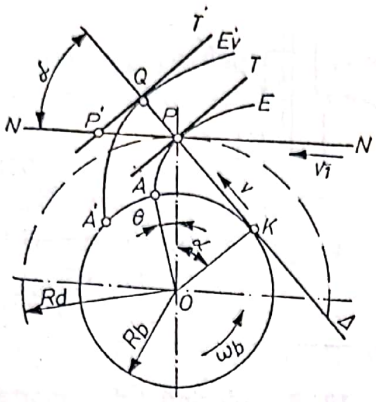


Fig. 10.75. Generarea evolventei prin metoda cu dreaptă mobilă (tangentă solidarizată cu dreaptă **NN**).

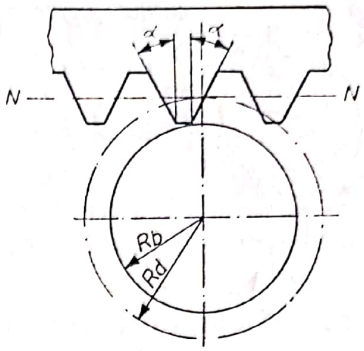


Fig. 10.76. Cuțitul pieptene obținut prin solidarizarea tangentelor cu dreapta **NN**.

viteza periferică a cercului de divizare. Această metodă de generare a evolventei este cunoscută sub denumirea de *generare cu dreaptă mobilă.*

Se demonstrează în modul descris mai sus că profilul în evolventă se poate genera dacă tangenta *T* rămîne fixă, iar cercul de divizare a roții dințate rulează pe dreapta *NN*. Metoda este cunoscută sub denumirea de *generarea evolventei cu dreaptă fixă.*

Flancul opus al roții dințate (profilul simetric celui generat mai sus) se poate genera dacă se solidarizează cu dreapta *NN* o tangentă înclinată invers decît în cazul descris mai sus.

Pentru mărirea productivității se solidarizează mai multe tangente (muchii așchietoare) cu dreapta *NN* înclinate într-un sens și altul (fig. 10.76) rezultînd scula de danturat, numită cuțitul pieptene.

10.2.14.3. **Prelucrarea danturii roților dințate cilindrice prin mortezare cu cuțit pieptene** are loc pe principiul generării cu dreaptă fixă, și mai rar pe principiul generării cu dreaptă mobilă.

Principiul generării cu dreaptă fixă este indicat în figura 10.77. Cuțitul pieptene execută mișcarea principală de așchiere care este o mișcare rectilinie alternativă, iar piesa se rotește în jurul axei proprii (executînd avansul circular) și se deplasează într-o direcție normală pe axa de rotație cu o viteză egală cu viteza periferică a cercului de divizare. Mișcarea de rotație și mișcarea de deplasare a piesei trebuie să fie strict coordonate din punct de vedere cinematic. Această legătură cinematică este asigurată de lanțul cinematic de rulare care este propriu doar mașinilor de danturat. Acest lanț cinematic, care se reglează prin roți de schimb, leagă axul de rotație al piesei cu șurubul care asigură deplasarea saniei pe care este montat tot ansamblul (masa rotativă cu piesa).

Mașinile de danturat (fig. 10.78) pe lîngă mișcarea principală *I* și mișcarea de rotație *II* a mesei, respectiv de translație *III* a saniei, mai posedă și o mișcare de reglare *IV* a distanței între piesă și sculă.

După prelucrarea unui dinte (sau a unui număr *n* de dinți) berbecul se oprește în poziția superioară, iar sania revine în poziția inițială fără să se rotească piesa. În acest fel se asigură divizarea cu un dinte prin revenirea saniei cu un pas (sau cu *n* pași), după care pornește berbecul și reîncepe faza de prelucrare. Ciclurile de lucru sînt comandate automat cu ajutorul unor came spațiale.

Scanned with OKEN Scanner

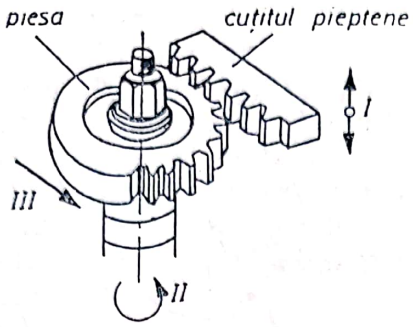


Fig. 10.77. Principiul prelucrării danturii prin mortezare cu cuțit pieptene.

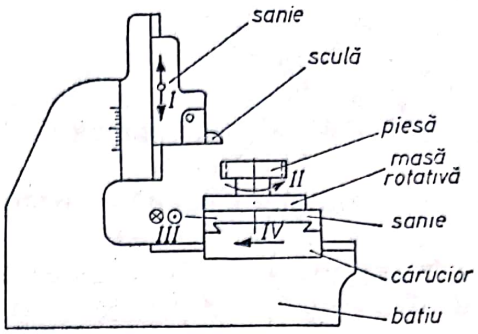


Fig. 10.78. Mașină de mortezat dantură cu cuțit pieptene.

10.2.14.4. **Prelucrarea danturii roților dințate cilindrice prin frezare cu freză-melc.** Se utilizează foarte frecvent în industria constructoare de mașini.

Scula folosită este freza-melc (fig. 10.79) care se obține dintr-un șurub melc prin executarea unor canale perpendiculare pe elicea melcului. Prin executarea acestor canale se realizează fața de degajare a sculei și locul pentru evacuarea așchiilor. Pentru evitarea frecărilor în timpul lucrului, se asigură frezei și un unghi de așezare prin detalonare.

În secțiunea normală pe elicea melcului freza-melc are un profil rectiliniu trapezoidal (profilul cremalierei generatoare). În timpul lucrului freza-melc se rotește în jurul axei proprii, iar piesa de asemenea în jurul axei proprii. Rezultă deci că generarea profilului în evolventă se realizează prin metoda generării cu dreaptă mobilă.

Pentru prelucrarea danturii unei roți dințate cilindrice, mașina de frezat dantură cu freză-melc (fig. 10.80) asigură mișcarea principală de așchiere *I* care este mișcarea de rotație a frezei-melc, mișcarea de rotație a piesei în jurul axei proprii *II* și mișcarea de avans axial *III*. Reglarea distanței între piesă și sculă se asigură prin deplasarea saniei mesei pe ghidajele orizontale ale batiului care este mișcarea de avans radial *IV*. Freza-melc se poate deplasa și tangențial în raport cu piesa, realizînd mișcarea de avans tangențial *V*, care se utilizează la prelucrarea roților melcate cu avans tangențial.

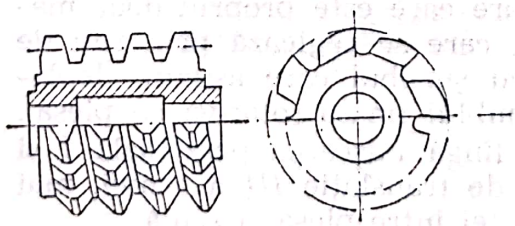


Fig. 10.79. Freză–melc modul.

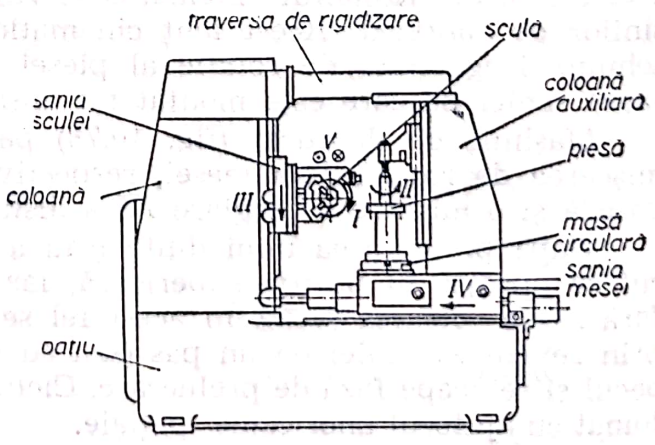


Fig. 10.80. Mașină de frezat dantură cu freză-melc.

Mişcarea de rotaţie a frezei-melc şi a piesei trebuie să fie strict coordonate, ceea ce se asigură de lanţul cinematic de rulare a maşinii de danturat.

10.2.14.5. **Prelucrarea danturii roţilor dinţate cilindrice prin mortezare cu cuţit roată.** Această prelucrare se bazează pe angrenarea a două roţi dinţate cilindrice. Dacă una dintre aceste roţi dinţate se execută cu unghi de degajare şi de aşezare, dintr-un material corespunzător, aceasta poate deveni sculă aşchietoare.

Principiul generării profilului în evolventă prin mortezare cu cuţit roată este indicată în figura 10.81. Scula execută mişcarea principală de aşchiere *I* care este o mişcare rectilinie alternativă şi mişcarea de avans circular *II* (rotindu-se în jurul axei proprii). Piesa execută mişcarea de avans circular *III* (rotindu-se ca şi cum ar angrena cu scula).

Maşinile de mortezat dantură cu cuţit-roată (fig. 10.82) realizează pe lîngă aceste mişcări şi mişcarea de reglare a distanţei între sculă şi piesă prin deplasarea saniei mesei pe ghidajele orizontale ale batiului, realizînd avansul radial *IV*.

10.2.14.6. **Finisarea danturii roţilor dinţate cilindrice.** Finisarea flancurilor dinţilor roţilor dinţate cilindrice se poate asigura prin rectificare sau prin şeveruire.

Rectificarea danturii se poate realiza prin metoda copierii sau prin metoda generării. La metoda copierii se utilizează ca sculă un disc abraziv, avînd în secţiune axială forma golului dintre doi dinţi a roţii dinţate de prelucrat. Metoda este foarte productivă dar asigură o precizie mai mică din cauza erorilor de divizare, erorilor de profilare a discului abraziv şi uzurii neuniforme a acestuia. Rectificarea danturilor prin rulare se realizează pe principiul generării cu dreaptă fixă. Discul abraziv are profil rectiliniu trapezoidal (fig. 10.83, *a*) sau materializează profilul rectiliniu trapezoidal prin două pietre (fig. 10.83, *b*), iar piesa execută mişcarea de rulare (se roteşte în jurul axei proprii şi se deplasează în direcţia dreptei *NN* cu viteza periferică a cercului de rulare).

Maşinile de rectificat dantură lucrînd cu disc abraziv dublu conic (fig. 10.84) sînt destinate prelucrării danturii roţilor dinţate cilindrice de dimensiuni mici şi mijlocii. Discul abraziv execută mişcarea principală de aşchiere *I*, iar piesa mişcarea de rotaţie *II* şi de translaţie *III*. Sania port-sculă execută o mişcare rectilinie alternativă *IV* asigurînd prelu-

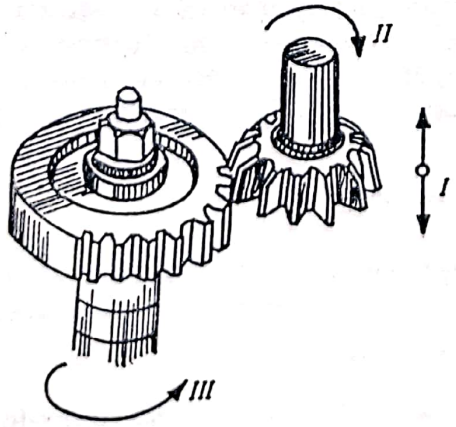


Fig. 10.81. Principiul prelucrării danturii prin mortezare cu cuţit roată.

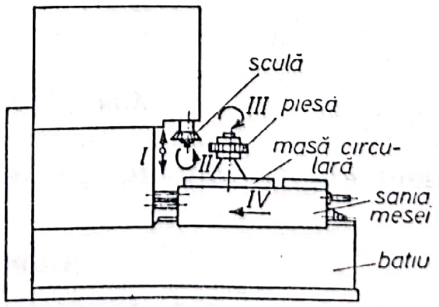


Fig. 10.82. Maşină de mortezat dantură cu cuţit roată.

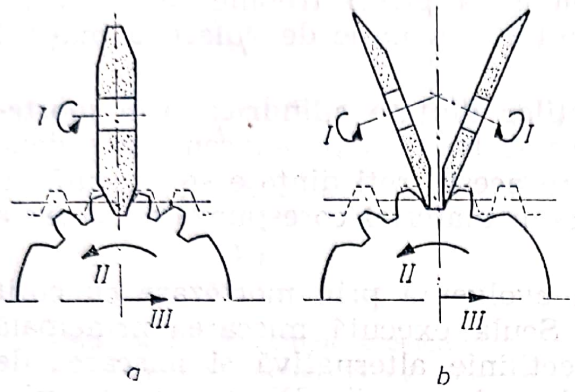


Fig. 10.83. Principiul rectificării danturii roților dințate cilindrice.

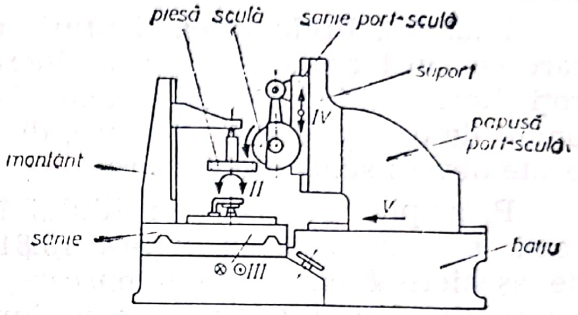


Fig. 10.84. Mașină de rectificat dantură (tip NILES).

crarea flancului pe întreaga lungime a dinților. Reglarea distanței între piesă și sculă se asigură prin mișcarea de avans radial V.

Șeveruirea danturilor se utilizează din ce în ce mai mult la finisarea flancurilor dinților roților dințate cilindrice în producția de serie sau producția de masă. Metoda de prelucrare asigură o productivitate ridicată dar necesită scule complicate și scumpe.

Scanned with OKEN Scanner

11

PROTECȚIA SUPRAFEȚELOR ÎMPOTRIVA COROZIUNII. ACOPERIRI

11.1. FENOMENUL COROZIUNII

Coroziunea este efectul interacțiunii materialelor cu mediul înconjurător, în baza următoarelor procese:

— *coroziunea chimică* poate apărea la toate materiile prime folosite în industrie, fiind provocată de acțiunea aerului sau gazelor uscate (O_2, CO_2, CO, SO_2, H_2, H_2S, HCl gazos) și a lichidelor rău conducătoare de electricitate (benzină, ulei, alcool) cu suprafața materialelor metalice;

— *coroziunea electrochimică* apare numai la metale, fiind provocată de acțiunea soluțiilor electrolitice (umezeală, agenți chimici etc.) și de existența unei diferențe de potențial electric în material (fraze, impurități, defecte de structură, defecte de suprafață etc.).

Privind forma, poziția și aspectul macro și microscopic, se disting diverse tipuri de coroziune (tab. 11.1).

În exploatare, aceste procese sînt accelerate sub acțiunea solicitărilor exterioare, fapt pentru care la alegerea unui material, pe lîngă caracteristicile mecanice, tehnologice și economice, trebuie să aibă în vedere și comportarea acestuia la coroziune.

Este semnificativ faptul, menționat în anuarele statistice ale O.N.U., că din producția de oțel din ultimele decenii (aproape 2 miliarde tone) jumătate s-a pierdut prin coroziune.

11.1.1. COROZIUNEA CHIMICĂ

Dintre factorii externi, acțiunea cea mai energică asupra metalelor o are oxigenul, după reacția

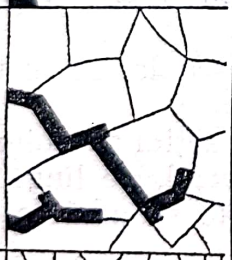
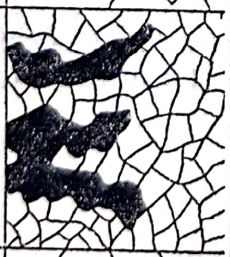
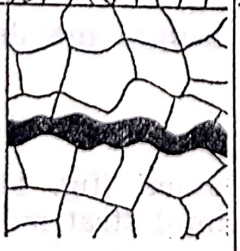
$$Me + nO \longrightarrow MeO_n \qquad (11.1)$$

Molecula de oxigen este absorbită și scindată în atomi (fig. 11.1). apoi aceștia se unesc cu atomii de metal și formează primul strat monomolecular de oxid (Me_2O).

Scanned with OKEN Scanner

TABELUL 11.1

Tipuri de coroziune

Prezentarea grafică	Forma și poziția coroziunii	Medii corozive și materiale corodate (exemple)
	Coroziune plană uniformă	Acidul clorhidric cu oțelurile inoxidabile
	Coroziune neuniformă	Atmosfera cu unele oțeluri
	Coroziune în pete	Apa cu unele oțeluri
	Coroziune perforantă	Bacteriile cu unele oțeluri. Unele medii cu aluminiul.
	Coroziunea intercristalină	Anumite aliaje tratate termic la care fenomenul de cristalizare a fost perturbat.
	Coroziune selectivă	Mediile corozive care provoacă dezincarea alamei, lăsînd neatacat Cu.
	Coroziunea transcristalină sub tensiune	Oțelurile austenitice cu soluții de cloruri.

Scanned with OKEN Scanner

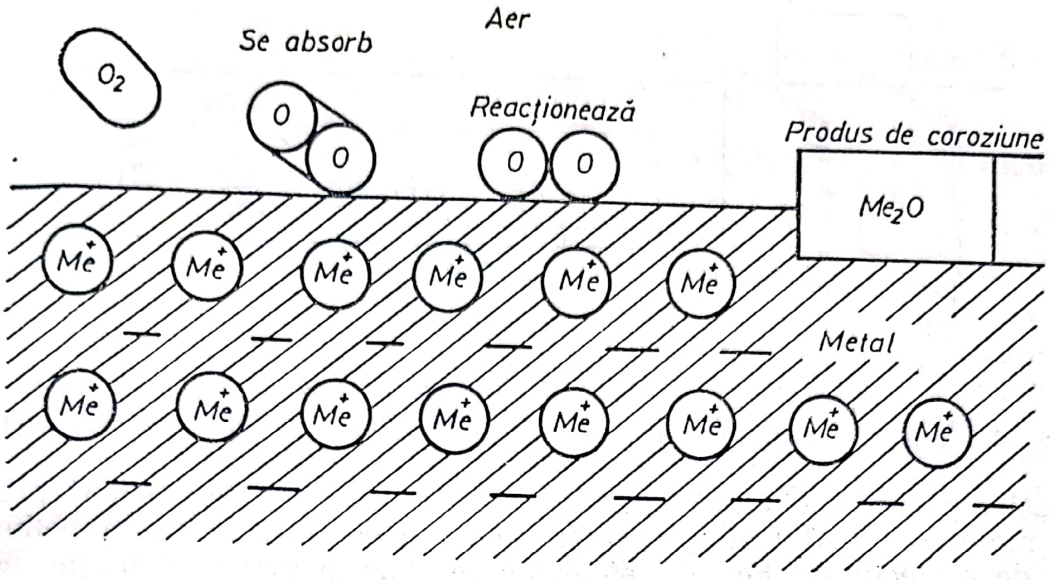


Fig. 11.1. Mecanismul procesului de oxidare a metalelor.

Se întîlnește în cazuri particulare cînd pe suprafața metalelor se formează o peliculă de oxizi de 1 ... 10 Å. Dacă grosimea acesteia este mică, compactă și densă are rol de protecție la oxidare în continuare (Al, Cu, Ni, Cr). La grosimi mai mari, pelicula se deformează și se desprinde (aliajele de Fe).

La temperaturi ridicate, coroziunea chimică se produce cu viteze mari. Este cazul prelucrării la cald a oțelurilor prin laminare. La 1200 ... 1600 K pelicula capătă o grosime de cîțiva milimetri (țunder) care se exfoliază, generînd pierderi considerabile de metal la fiecare încălzire (fig. 11.2).

11.1.2. COROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ

Ca să apară, trebuie să existe un element galvanic, adică anod, catod, electrolit și conductor (fig. 11.3, *a*).

Materialele metalice folosite în industrie sînt eterogene, considerate ca fiind alcătuite din electrozi. Introduse în apă sau în mediu cu proprietăți electrolitice, pe suprafața acestora impuritățile funcționează ca microcatozi cu descărcare de H_2 (fig. 11.3, *b* și *c*), în timp ce metalul, funcționînd ca anod se dizolvă. Scurtcircuitarea se face prin însăși materialul metalic.

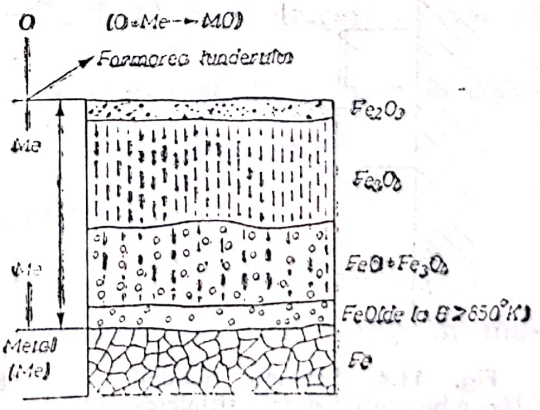


Fig. 11.2. Succesiunea straturilor de oxizi la suprafața oțelului încălzit pentru forjare.

Corodarea suprafeței metalice este o combinație a acțiunii elementelor galvanice locale (macro și microelemente) — fig. 11.4 — care, după natura lor, pot fi: elemente cu electrozi diferiți prin compoziție chimică (duraluminiu cu un aliaj de Al-$CuAl_2$); elemente cu electrozi de

Scanned with OKEN Scanner

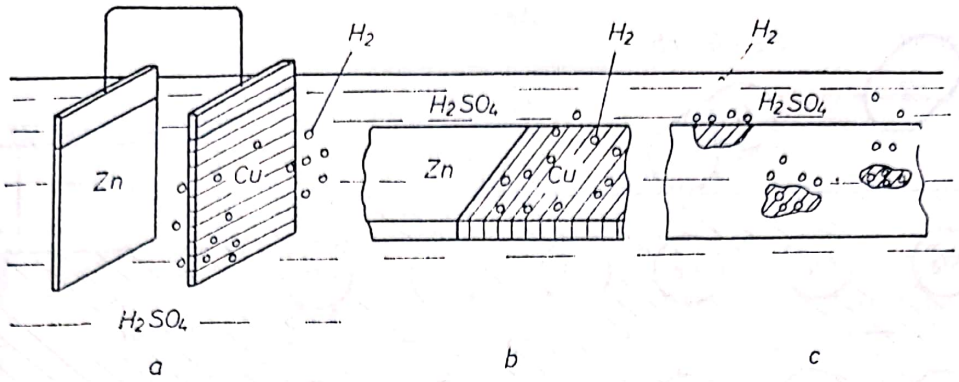


Fig. 11.3. Schema transformării unui element galvanic obișnuit într-un microelement.

aceeași compoziție chimică dar cu proprietăți fizice diferite (Al prelucrat mecanic cu Al tratat termic); elemente ce apar în urma peliculizării de protecție (la Fe, Al); elemente ce apar în urma repartiției neuniforme a oxigenului în mediu de coroziune (efectul Ewans).

În acest proces electrochimic, părți neidentice ale metalului vor avea rolul de catod sau anod în formarea microelementelor (fig. 11.5).

Procesul anodic (de dizolvare a anodului) poate avea loc după una din reacțiile de electrod:

$$Me \longrightarrow Me^{n+}\ (aq) + ne^- \qquad (11.2)$$

$$Me + nH_2O \longrightarrow Me(OH)_n\ (S)\ + nH^+ + ne^- \qquad (11.3)$$

unde: *(aq)* — produși solubili; *(S)* — produși greu solubili; n — valența ionului de metal.

Procesul catodic apare în soluții apoase în contact cu atmosfera și constă în reducerea ionilor de H_2

$$2H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2 \qquad (11.4)$$

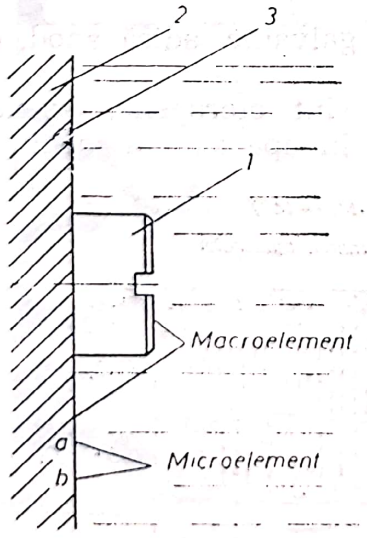


Fig. 11.4. Schema acțiunii combinate de macro și microelemente:
1 — cupru; 2 — duraluminiu; 3 — $CuAl_2$; a, b — microelement (fazele duraluminiu α — $CuAl_2$).

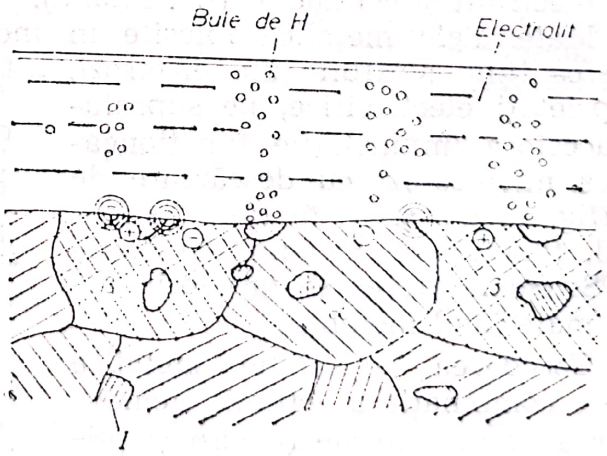


Fig. 11.5. Schema formării microelementelor:
α, β — grăunți cristalini cu potențiale electrochimice diferite; I — impuritate anodică.

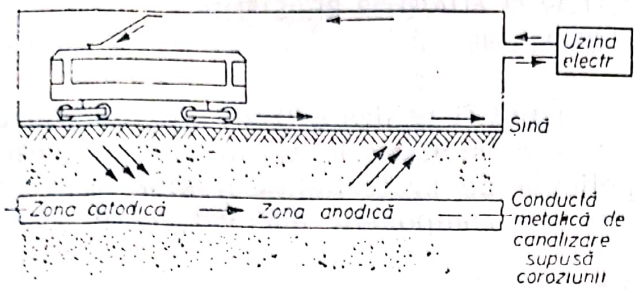


Fig. 11.6. Schema mecanismului coroziunii datorată curenților de dispersie.

sau reducerea oxigenului dizolvat

$$\frac{1}{2}O_2+H_2O+2e^- \longrightarrow 2OH^- \qquad (11.5)$$

Potențialele electrochimice ale metalelor se măsoară față de potențialul electronului de hidrogen (potențial zero) și sînt împărțite în două grupe: electropozitive și electronegative. Metalele puternic electronegative se corodează ușor cu depolarizare de hidrogen (relația 11.4), iar cele electropozitive, față de potențialul de descărcare al hidrogenului, nu se corodează decît în prezența oxigenului obținîndu-se coroziune cu depolarizare de hidrogen simultan cu coroziune cu depolarizare de oxigen (relația 11.5).

Un exemplu reprezentativ al coroziunii electrochimice este ruginirea fierului în cazul coroziunii atmosferice sau prin corodarea provocată de curenții electrici de dispersie în sol (curenți vagabonzi), figura 11.6.

11.2. METODE DE PREVENIRE A COROZIUNII MATERIALELOR METALICE

11.2.1. ACȚIONAREA ASUPRA MEDIULUI COROSIV

Acționarea asupra mediului corosiv se realizează prin:

— eliminarea componentelor periculoase din mediul de coroziune (prin metode chimice, fizice, mecanice) cu modificarea *p*H-ului la o valoare optimă pentru metalul ce trebuie protejat;

— utilizarea inhibitorilor sau pasivatorilor, substanțe care micșorează viteza de coroziune;

— îndepărtarea apei sau gazelor (O_2, CO_2) care măresc viteza de coroziune;

— folosirea protecției catodice, a unor catozi auxiliari care se corodează în locul metalului protejat.

11.2.2. PREVENIREA COROZIUNII

Prevenirea coroziunii se realizează prin:

— alegerea materialelor care se corodează cel mai puțin în mediile respective;

— evitarea contactului direct între două metale, din care unul este mai electronegativ, precum și metale ecruisate în contact cu metale recoapte sau turnate (din cauza diferenței de potențial electrochimic între ele);

— rectificarea suprafețelor cu adînciturі și zgîrieturi.

Scanned with OKEN Scanner

11.2.3. UTILIZAREA METALELOR ŞI ALIAJELOR REZISTENTE LA COROZIUNE

Metalele nobile şi aliajele lor nu pot fi utilizate frecvent, din cauza costului ridicat. Pot fi utilizate cu succes metalele şi aliajele *autoprotectoare* (cele care formează o peliculă de protecţie). Cel mai frecvent procedeu este *alierea* metalelor cu un component adecvat, care scade viteza de coroziune.

11.2.4. ACOPERIREA SUPRAFEŢELOR CU ÎNVELIŞURI ANTICOROSIVE

Învelişurile anticorozive trebuie să aibe grosimi cît mai uniforme, să fie compacte şi aderente. Stratul protector poate fi *metalic* cînd se realizează pe cale termică (prin cufundare în metal topit, prin difuziune, prin pulverizare etc.), pe cale galvanică sau prin placare sau *nemetalic* cînd se realizează cu lacuri, vopsele, emailuri sau folii de mase plastice.

11.3. ACOPERIREA PRIN PULVERIZARE (METALIZAREA)

Constă în pulverizarea de particule foarte fine a metalului topit cu ajutorul unui jet de aer comprimat sau gaz inert; particulele lovesc şi aderă de suprafaţa supusă acoperirii, formînd un strat metalic protector. Se aplică atît pe obiecte metalice, cît şi pe cele nemetalice (lemn, beton, ceramică etc.) cu ajutorul unor instalaţii speciale de metalizare. Ca material de aport se utilizează metal topit, pulbere sau sîrmă. În acest ultim caz, sîrma este topită în aparatul de metalizare cu flacăra oxigaz sau electric.

Metalizarea cu gaze se foloseşte în special pentru depuneri de metale neferoase sau pe suprafeţe interioare. Principiul de funcţionare al metalizorului cu gaze este următorul: un mecanism alimentează cu sîrmă capul aparatului, pe care o topeşte cu flacăra oxigaz şi, sub acţiunea unui jet de aer comprimat, metalul este pulverizat în particule foarte fine (fig. 11.7).

Topirea electrică poate fi realizată prin arc electric, rezistenţe electrice, curenţi de înaltă frecvenţă sau jet de plasmă. În figura 11.8 este prezentată schema de principiu a unui metalizor cu arc electric. Două sîrme conectate la o sursă de sudare şi antrenate de role se întîlnesc la ieşirea unei duze. Arcul electric produs topeşte capetele sîrmelor, iar

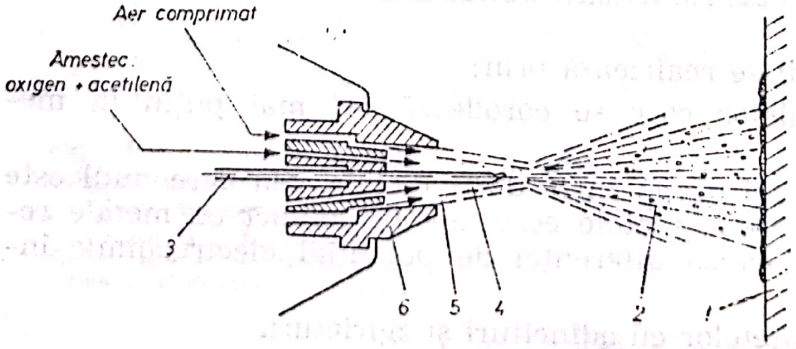


Fig. 11.7. Schema de principiu a unui metalizor cu flacără de gaze:
1 — piesa de metalizat; 2 — jetul de particule metalice; 3 — sîrmă; 4 — flacără de gaze pentru topire; 5 — înveliş de aer; 6 — corpul şi duzele arzătorului.

Scanned with OKEN Scanner

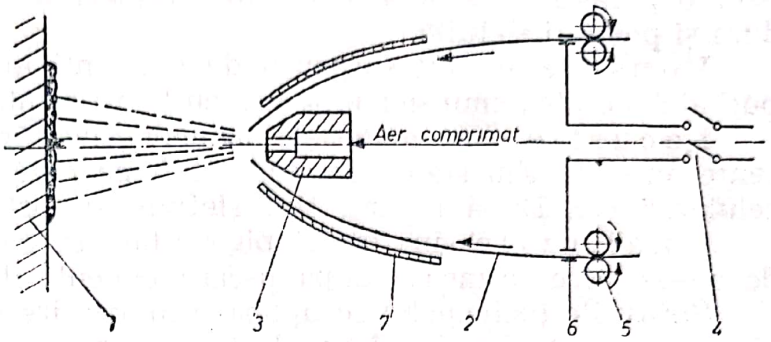


Fig. 11.8. Schema de principiu a unui metalizor cu arc electric:
1 — piesa de metalizat; 2 — sîrme electrod; 3 — duze pentru aer; 4 — sursa de curent; 5 — role de antrenare; 6 — patine de cupru pentru contact; 7 — ghidaje pentru sîrmă.

aerul comprimat, orientat de alezajul duzei, pulverizează metalul topit care este depus pe suprafața obiectului.

Materialele de aport cele mai utilizate sînt zincul și aluminiul, iar pentru protecția coroziunii chimice se preferă plumbul. Bronzul se utilizează mai ales ca material decorativ.

Suprafețele suport pot avea cele mai diferite forme. Înainte de metalizare acestea sînt supuse sablării sau acoperirii cu molibden. Metalizarea trebuie efectuată imediat după pregătirea suprafețelor pentru a evita oxidarea. Instalații automate realizează acest ciclu sablare-metalizare programat electronic.

Stratul metalizat are grosimea de 0,25 ... 0,5 mm, mai subțire din aluminiu și mai gros din zinc.

11.4. MATERIALE DE ACOPERIRE ȘI PROTECȚIE A SUPRAFEȚELOR METALICE

Se folosesc grunduri, chituri, vopsele, lacuri și emailuri, ai căror constituenți principali sînt:

— *liantul* are rolul de a forma pelicule continue prin uscare, fiind un amestec de compuși chimici organici dizolvați într-un solvent; poate fi pe bază vegetală, derivați ai celulozei, rășini naturale sau sintetice etc.;

— *pigmenții* sînt substanțe organice sau anorganice, care dau culoarea, măresc rezistența și încetinesc îmbătrînirea peliculei;

— *solvenții* sînt substanțe organice volatile în care se dizolvă lianții; pot fi ușor volatili (acetona, alcoolul metilic etc.), cu volatilitate mijlocie (xilenul, toluenul etc.) și greu volatili (white-spirtul, terebentina etc.).

Mai pot conține diluanți, sicativi, stabilizatori, antioxidanți, agenți de dispersie etc.

Grundurile sînt constituite dintr-o substanță peliculogenă cu suspensie de pulbere fină metalică din Zn și Pb, utilizate ca materiale de protecție anticorozivă catodică a metalelor feroase în atmosferă sau apa de mare.

Chiturile sînt utilizate pentru umplerea porilor, cavităților sau netezirea suprafețelor grunduite. Îmbunătățesc aspectul exterior al pieselor, însă înrăutățesc proprietățile mecanice și anticorozive ale acoperirii; din acest motiv se evită chituirea la acoperiri speciale. Se aplică

Scanned with OKEN Scanner

prin depunere cu șpaclu sau prin stropire. După uscare, pelicula este dură și poate fi șlefuită.

Vopselele sînt suspensii de pigmenți în substanțe peliculogene, putînd fi de ulei, emulsionabile sau cu lianți solubili în apă.

Lacurile sînt materiale peliculogene fără pigmenți, transparente, incolore sau slab colorate. Pot fi pe bază de ulei, rășini, derivați celulozici etc. După uscare, sînt șlefuite și lustruite cu paste speciale.

Emailurile sînt lacuri pigmentate cu sau fără alte materiale de adaos, care formează după uscare pelicule dure, netede și lucioase.

Straturile (peliculele) se aplică prin vopsire cu pensula, pulverizare, imersie, pulverizare în cîmp electric (vopsirea electrostatică), vopsire prin curgere sau pe principiul electroforezei prin care se obțin pelicule de 25 ... 35 μm.

Scanned with OKEN Scanner

12

REGLEMENTĂRI ȘI RECOMANDĂRI PRIVIND PROTECȚIA MUNCII ȘI MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

12.1. INTRODUCERE

Ansamblul de măsuri care vizează îmbunătățirea condițiilor de muncă, prevenirea accidentelor de muncă și a îmbolnăvirilor profesionale, a avariilor, incendiilor, exploziilor etc., asigură condiții optime de muncă pentru personalul de deservire a instalațiilor și agregatelor, îndeplinirea sarcinilor de producție privind cantitatea și calitatea.

Normele de tehnica securității și protecția muncii sînt republicane și departamentale și au caracter de lege.

În România, reglementările de protecția muncii sînt cuprinse în Legea nr. 5/1965 și Ordinul comun nr. 34/20. 02. 1975 al Ministerului Muncii și nr. 60/20. 02. 1975 al Ministerului Sănătății.

În normele republicane de protecție a muncii, elaborate de Ministerul Muncii și Ministerul Sănătății, se dau indicații atît pentru proiectarea, construirea și organizarea noilor întreprinderi industriale, cît și pentru asigurarea unor condiții de desfășurare a activităților productive de bază și auxiliare în întreprinderile industriale și economice, în condiții de deplină securitate și protecție a muncii. Normele departamentale de protecția muncii sînt elaborate, în mod detaliat, pentru specificul fiecărui sector, secție și loc de muncă.

Pentru proiectarea unităților economice industriale, a utilajelor și instalațiilor, sînt prevăzute, de asemenea, norme de protecția muncii, care trebuie menționate în mod expres în documentația tehnică și tehnologică de execuție și exploatare.

Cunoștințele de protecție și igienă a muncii sînt însușite de oamenii muncii, în principal, prin instructajul general introductiv, instructajul special la locul de muncă, instructajul specific periodic.

Scanned with OKEN Scanner

12.2. PREVEDERI ALE NORMELOR DE PROTECȚIA MUNCII ÎN SECȚIILE DE ELABORARE ȘI TURNARE ÎN LINGOTIERE

În mediul de lucru al acestor secții, sursele de accidente sînt obiectele voluminoase grele deplasate la sol și la înălțime, căile de acces aglomerate cu semifabricate, forme și rame stivuite, piesele turnate calde și metalul topit, materiile în suspensie în exces (praful) și gazele. În aceste condiții de lucru sînt necesare următoarele măsuri:

— în spațiul destinat preîncălzitoarelor de cocs și buncărelor de aglomerat cald, se va folosi, în mod obligatoriu, masca de gaze cu cartușul filtrant, împotriva oxidului de carbon;

— la încărcarea cuptoarelor (în care se mai află metal topit după golire, necesar amorsării șarjei următoare) cu materiale solide sau lichide este necesară uscarea materialelor solide, spațiul din zona ferestrei de încărcare să fie liber și circulația personalului interzisă în această zonă, deplasarea oalei de încărcare cu metal topit să se facă în depline condiții de securitate;

— în vederea evacuării din cuptor a șarjei topite, jgheaburile de scurgere se curăță foarte bine de metal solidificat, amestec de formare și, mai cu seamă, de apă; oalele pentru turnare trebuie uscate, înainte de umplere, pentru evitarea împroșcărilor cu topitură și a exploziilor;

— perforarea (spargerea) orificiilor de evacuare a produselor topite din cuptor se face cu unelte metalice uscate, curățită de lipituri și preîncălzite;

— în vederea evacuării din cuptor a matei (metalurgia cuprului) se pune în funcțiune ventilatorul hotei locale de absorbție, pentru evacuarea forțată a gazelor, în timpul căreia, în mod obligatoriu, muncitorii vor purta masca de gaze cu cartuș filtrant pentru SO_2;

— transportarea oalelor cu zgură topită se face numai după ce se formează o crustă la suprafață;

— spargerea zgurei trebuie făcută în locuri special amenajate, prevăzute cu paravane pentru protecția muncitorilor;

— înainte de turnare, lingotierele trebuie să fie bine curățite și uscate;

— la turnarea topiturii metalice în lingotiere, turnătorii sînt obligați să poarte echipamentul de protecție adecvat, indicat în normative; de asemenea, lingotierele calde și lingourile trebuie stropite cu apă numai de la distanță, pentru evitarea arsurilor provocate de vaporii de apă.

În cazul nerespectării normelor de protecția muncii în secțiile de topire și turnare, se pot produce grave accidente de muncă, dintre care: accidente mecanice provocate de căderea sau răsturnarea pieselor grele, arsuri, explozii, predispoziție pentru silicoză și intoxicări cu gaze și vapori de CO, SO_2, As, Pb etc.

12.3. PREVEDERI ALE NORMELOR DE PROTECȚIA MUNCII ÎN SECȚIILE DE FORMARE ȘI TURNARE ÎN FORME

La stabilirea normelor de protecție a muncii pentru secțiile de execuție a formelor și de turnare a metalului topit în forme, trebuie să se țină seama de specificul întregului ansamblu și al fiecărui atelier și

Scanned with OKEN Scanner

loc de muncă, de existența fizică a materialelor și pieselor calde și grele, la transportul acestora integrat în fluxul tehnologic general, de combustibilul și sursa de alimentare cu forță, de utilajele și instalațiile din dotarea secțiilor, precum și de activitățile specifice ale procesului de producție. Astfel:

— utilajele și instalațiile (pentru ridicat și transportat, cuptoarele, mașinile și instalațiile de măcinat și sortat etc.) specifice depozitelor de materii prime și auxiliare reprezintă cauza principală de accidente grave, mai ales că în acest loc de muncă lucrează muncitori cu slabă calificare, fapt pentru care aceste utilaje și instalații trebuie să fie prevăzute cu paravane de protecție ale organelor în mișcare, indicatoare vizuale de pericol de electrocutare, căi de acces vizibile marcate, mînă curentă pentru coborîrea pe trepte etc.

— în depozitele de nisipuri și lianți uscați, precum și la instalațiile de preparare și sortare, există pericolul apariției silicozei, pentru care trebuie asigurată o ventilație continuă prin care să fie eliminate particulele fine din spațiul de lucru. Ventilația este obligatorie și în cazul în care lianții, folosiți la prepararea amestecurilor de formare, degajă gaze sau vapori nocivi;

— o atenție deosebită trebuie acordată activității de la mașinile de formare și la grătarele pentru dezbaterea de amestec de formare a formelor turnate, unde mecanismele în mișcare pot accidenta pe cei care deservesc aceste utilaje sau pe cei din apropiere;

— transportul oalei de turnare și turnarea metalului topit în forme impun, din partea celor care conduc aceste operații, asigurarea respectării prevederilor specifice acestor locuri de muncă, referitoare la tehnica securității muncii. În caz de nerespectare riguroasă a acestor indicații, metalul lichid poate produce grave accidentări;

— o deosebită supraveghere trebuie acordată cuptoarelor cu flacără pentru elaborarea șarjelor de metal topit, dar mai ales cuptoarelor verticale pentru uscarea formelor și miezurilor, privind aprinderea și stingerea focului și, în special, privind supravegherea alimentării cu combustibil. Prin respectarea acestor măsuri prevăzute în mod expres în reglementările în vigoare de protecția muncii, materializate prin indicații afișate vizibil, dar mai cu seamă prin instruirea periodică și riguroasă a celor care au autorizație pentru aprinderea, supravegherea și stingerea focului, pot fi evitate grave accidente colective.

12.4. PREVEDERI ALE NORMELOR DE PROTECȚIA MUNCII ÎN SECȚIILE DE PRELUCRARE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Procesul tehnologic, specific secțiilor de prelucrare prin deformare plastică la cald, se realizează cu utilaje grele și material metalic în stare incandescentă. Încălzirea în cuptoare, transportul, manevrarea pieselor în stare caldă și prelucrarea acestora pe utilaje puternice reprezintă un ansamblu cu deosebite condiții de lucru care impun asigurarea muncii printr-o serie de măsuri de protecție și de prevenire a accidentelor, precum și asigurarea unor măsuri pentru evitarea incendiilor și avariilor de utilaje. Astfel:

Scanned with OKEN Scanner

— amplasarea cuptoarelor pentru încălzirea pieselor trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să fie aproape de utilaj, ușa cuptorului să nu fie orientată spre un utilaj sau loc de muncă, deplasarea piesei încălzite, de la cuptor la utilajul de prelucrat, să se facă în cadrul fluxului tehnologic general, fără traversarea căilor de acces;

— muncitorii care manipulează și transportă piesele calde trebuie să folosească echipamentul de protecție și ajutător specific activității pe care o desfășoară;

— funcție de volumul producției, pe baza unor motivații tehnico-economice, trebuie mecanizat transportul și manipularea pieselor grele în stare caldă, pentru ușurarea muncii, evitarea gradului ridicat de oboseală și accidentelor.

La utilajele de prelucrare prin deformare plastică la cald, organele de lucru au mișcări specifice care, în majoritatea cazurilor, sînt semiautomatizate. Manevrarea semifabricatului în procesul de prelucrare poate fi automatizată, fapt pentru care deservirea acestor utilaje presupune, în primul rînd, o cunoaștere în detaliu a modului de funcționare și exploatare. Astfel:

— fiecare utilaj poate fi pus în funcțiune și folosit în procesul de fabricație, numai după verificarea atentă a stării de funcționare;

— comanda de începere a lucrului trebuie dată de o singură persoană, care este obligată să se asigure că sînt îndeplinite condițiile de lucru (semifabricat introdus corect, nu sînt unelte ajutătoare în spațiul de lucru, nu se desfășoară nici o acțiune de către alți muncitori în apropiere etc.);

— alimentarea utilajelor trebuie să se facă numai cu semifabricate de dimensiuni, calitate și temperatură de forjare corespunzătoare procesului tehnologic, reglajului și regimului de lucru;

— la constatarea funcționării necorespunzătoare a utilajului, se va comanda imediat oprirea acestuia;

— comanda utilajului și supravegherea procesului tehnologic de prelucrare se va face numai din locul stabilit pentru operator, iar acesta să fie protejat în cazul unor desprinderi de piese sau deplasări ale frontului de căldură sau de gaze nocive în spațiul de lucru;

— amplasarea utilajelor și instalațiilor în secțiile de deformare plastică la cald, trebuie să asigure o desfășurare nestingherită a mișcărilor efectuate de personalul de deservire, o circulație minimă a semifabricatelor și pieselor prelucrate, pentru reducerea oboselii fizice și, în consecință, a pericolului de accidentare;

— utilajele de deformare plastică trebuie să fie prevăzute din construcție cu instalații de protecție, montate la locul de muncă și utilizate;

— mecanizarea și automatizarea mișcărilor, necesare efectuării operațiilor de prelucrare, prezintă o importantă măsură de protecție a muncii. Acestea trebuie să asigure, în primul rînd, eliberarea forței de muncă de solicitări fizice excesive și periculoase, mai su seamă la prelucrarea prin deformare plastică pe laminoare, prese și ciocane mari de forjare liberă și în matriță, calibrare prin tragere a pieselor lungi și grele etc.;

— o deosebită importanță trebuie acordată mediului de lucru în secțiile de deformare, în sensul asigurării unei ambianțe corespunzătoare, avînd în vedere temperatura ridicată, emanațiile de gaze, particulele în suspensie, fumul etc.

Scanned with OKEN Scanner

Subliniem că toate măsurile de protecția muncii trebuie să fie luate în funcție de specificul locului de muncă, în scopul reducerii efortului fizic al muncitorului, păstrării și întreținerii capacității de concentrare și reacție, întrucît starea de oboseală excesivă este principala cauză a accidentelor.

12.5. PREVEDERI ALE NORMELOR DE PROTECȚIA MUNCII ÎN SECȚIILE, ATELIERELE ȘI LOCURILE DE MUNCĂ DESTINATE SUDĂRII

Datorită condițiilor în care se realizează lucrările de sudare (intensitatea luminoasă a arcului, flăcării etc., temperatura picăturii și băii de metal topit, alimentarea la rețeaua de forță, atmosfera saturată de gaze și particule în suspensie, poziția incomodă sau la înălțime, mecanizarea proceselor de sudare, manipularea pieselor grele și voluminoase în apropierea sau deasupra locului de muncă etc.) trebuie luate măsuri eficiente pentru prevenirea accidentelor. Astfel:

— pot executa lucrări de sudare, numai persoanele care au împlinit vîrsta de 18 ani, care cunosc temeinic instalațiile, aparatura și procedeele de lucru și care au fost instruite din punct de vedere al protecției muncii conform normelor de protecția muncii în industria construcțiilor de mașini, ediția 1979, articolele 1500—1834;

— asigurarea, de către coordonatorii proceselor de producție, a echipamentelor de lucru și de protecție necesare, prevăzute în normative funcție de procedeul de sudare aplicat și de condițiile de lucru;

— pentru fiecare loc de muncă trebuie asigurată o suprafață utilă de lucru, în afara suprafețelor ocupate de utilaje, iar încăperile cu înălțimea de cel puțin 3 m trebuie să fie bine aerisite prin ventilație naturală sau artificială;

— amplasarea secțiilor de sudare nu este permisă în subsolurile clădirilor sau în subteran;

— pentru operațiile de sudare în locuri de muncă deosebit de periculoase (asfixiere, intoxicare sau cădere de la înălțime), începerea lucrului este permisă numai după obținerea aprobării scrise, emisă de conducătorul atelierului, șantierului etc. și după ce s-a verificat, prin probe, atmosfera din spațiul respectiv. Măsurile de protecția muncii vor fi specificate detaliat în aprobarea scrisă pe care o primește coordonatorul locului de muncă în care se execută operația de sudare;

— în afara măsurilor generale de protecția muncii, prevăzute în normele menționate mai sus, fiecare întreprindere sau unitate productivă care efectuează lucrări de sudare trebuie să întocmească instrucțiuni detaliate privind protecția muncii, funcție de procesul tehnologic și utilajele specifice folosite.

12.6. PREVEDERI ALE NORMELOR DE PROTECȚIA MUNCII ÎN SPAȚIILE DESTINATE PRELUCRĂRII PRIN AȘCHIERE

În spațiile de lucru ale atelierelor mecanice, condițiile în care se desfășoară prelucrările prin așchiere au caracter distinct: utilaje sub tensiune, organe de mașini și mecanisme în mișcare, așchii fierbinți

Scanned with OKEN Scanner

desprinse şi proiectate cu viteze mari, sarcini transportate de podurile rulante peste utilaje şi locuri de muncă, aglomerări de semifabricate şi produse finite, piese agabaritice etc.

12.6.1. MĂSURI DE PROTECŢIA MUNCII PRIVIND OPERATORUL UMAN

Operatorul uman trebuie să fie în perfectă stare psiho-fiziologică (odihnit, fără preocupări în afara celor referitoare la obiectul muncii şi operaţia tehnologică), cu verificarea medicală periodică, cu reflexe bune etc. În unele cazuri, sînt frecvente accidentele după zilele de odihnă, salariu sau sărbători. Mai rar din cauza pierderii cunoştinţei pe fondul unei boli cronice (ulcer perforat, cardiopatie etc.).

Materialele de uzură şi protecţie (salopetă completă sau combinizon, caschetă sau şapcă, ochelari de protecţie, încălţăminte) trebuie să fie în bună stare, adecvate şi ajustate pe corp, fără proeminente. În caz contrar, spre exemplu, şnurul bluzei de salopetă poate fi înfăşurat pe organele de maşini în rotaţie.

Părul lung trebuie strîns sub caschetă sau, la femei, legat cu basma la spate, astfel ca să nu fie antrenat de universalul strungului, axul maşinii de găurit, freza în mişcare etc.

Un examen oftalmologic periodic poate preveni accidentări, mai ales pentru miopi, la apropierea de organe în mişcare.

12.6.2. MĂSURI DE PROTECŢIA MUNCII PRIVIND UTILAJUL ŞI SPAŢIUL DE LUCRU

Maşina-unealtă, utilajul sau instalaţia de prelucrare lucrează sub tensiune, fapt pentru care acestea trebuie să fie legate la pămînt (împămîntare) conform normelor, pentru evitarea electrocutării.

Organele în mişcare şi mecanismele de transmisie trebuie să fie dotate cu apărătoare de protecţie şi limitatoare de cursă. La locul desprinderii aşchiilor să existe ecrane de protecţie sigure, utile şi uşor de manevrat.

Spaţiul util de lucru să fie degajat de deşeuri (aşchii etc.), iar semifabricatele şi piesele finite să fie depozitate separat, în siguranţă şi la îndemîna operatorului.

În poziţia de lucru, pe planşeu, să fie un podium (grătar) potrivit taliei operatorului şi condiţiilor de izolare termică şi higroscopică.

O grijă deosebită trebuie avută pentru eliminarea resturilor (coji de fructe, ulei, apă, aşchii etc.) de pe suprafaţa locului de lucru şi a căilor de acces.

Între utilaje şi între acestea şi perete sau calea de acces, este obligatorie respectarea distanţelor reglementare. Căile de acces să fie degajate şi marcate distinct.

Pentru spaţiile tehnologice cu poduri rulante, este obligatorie avertizarea sonoră sau optică în cazul deplasării sub sarcină sau manevrării cîrligului macaralei în spaţiul util.

Scanned with OKEN Scanner

12.7. RECOMANDĂRI PENTRU PREVENIREA EXPLOZIILOR ȘI INTOXICĂRILOR LA FABRICAREA PRODUSELOR PRIN SINTERIZARE

În instalațiile de sinterizare sau în afara acestora, unde se folosește hidrogenul pur sau amestecat cu azot (provenit din disocierea amoniacului) și gazul metan, poate exista pericolul de explozie.

Pentru evitarea accidentelor, cuptorul trebuie să fie dimensionat corespunzător și etanș, iar la ușa acestuia să ardă o flacără permanentă alimentată prin conductă separată.

Înainte de insuflare cu gaz pentru realizarea mediului de sinterizare, cuptorul se spală (suflă) cu azot. De asemenea, nu se va permite intrarea aerului direct în recipientul în care se află gaz exploziv. Rezervoarelor de gaze lichefiate li se vor asigura cu strictețe măsurile de protecție specifice (de exemplu amplasarea în spații separate de cele destinate operației de sinterizare).

Muncitorii care manipulează, distribuie sau lucrează cu gaze trebuie să aibe în dotare echipament de protecție corespunzător și mască de gaze cu filtru adecvat. Ventilarea periodică a halelor este obligatorie.

12.8. PROTECȚIA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

12.8.1. INTRODUCERE

Dacă se acceptă că există o realitate determinată în natură, o entitate indispensabilă între om și mediu, precum și o influență pe care mediul natural poate să o aibă asupra omului, făcînd apel la legea echilibrului universal de ce să nu acceptăm că și omul, folosind combinat sau transformînd apa, aerul, solul, energiile potențiale etc. poate modifica condițiile de viață, de mediu.

Pe baza acestei ipoteze, se pune întrebarea (încă de la începuturile gîndirii umane) care sînt limitele pe care le poate atinge influența reciprocă dintre om și mediu. Dacă natura, respectiv mediul, a determinat o lentă evoluție asupra omului, contribuția acestuia a fost deosebit de dinamică în acumulări cantitative și salturi calitative care, în existența umană, au determinat epoci și societăți, sau mai de curînd, în ultima jumătate de secol, două lumi distincte antagoniste, lumi care, prin reziduurile materiale și spirituale deversate conștient și cu obiectiv, pot polua pînă la stress sau peste limita existenței fizice umane și chiar a terrei.

Așadar, dacă ne referim la poluare, sîntem obligați să nu scăpăm din vedere această modă generală foarte „en vogue", al cărei efect nu-l cunoaștem și pe care o numim încă timid participarea la cursa înarmărilor.

12.8.2. FACTORI POLUANȚI AI MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

În trecut, cînd a existat o densitate redusă a populației și s-au utilizat aproape în exclusivitate produsele naturale, reziduurile se produceau în cantități reduse, iar nocivitatea acestora nu constituia un peri-

Scanned with OKEN Scanner

col pentru om. Acestea puteau fi deversate în apă, pe sol sau în aer, fiind neutilizate datorită marilor posibilități de integrare în ciclurile de transformare naturală de către factorii de mediu. Astfel, viața omului s-a desfășurat, după acest model, timp de cîteva milenii, pînă în zilele noastre.

Progresele științei, care au revoluționat societatea umană, au determinat larga folosire a tehnicii și evoluția dinamică a civilizației în ultimele secole, cu o creștere explozivă a populației, industriei și transportului mecanizat, avînd ca rezultat creșterea cantității reziduurilor și nocivității acestora. Reziduurile se acumulează, invadează și alterează tot mai mult starea naturală a mediului. Uneori elementele vitale ale mediului (aerul, apa, solul) sînt poluate, pînă la suprasaturare, de mase de reziduuri care depășesc capacitatea naturală de transformare și de integrare în factorii de mediu. Astfel, mediul devine sufocant și inutilizabil pentru om.

Principalii factori poluanți ai mediului înconjurător pot fi:

— în atmosferă se degajă fum, pulberi și gaze nocive din coșurile uzinelor, din țevile de eșapament ale vehiculelor dotate cu motoare cu ardere internă, din gurile de ventilație ale întreprinderilor industriale;

— pe cursurile de apă se scurg afluenți în care au fost deversate resturi organice de natură diferită și microorganisme evacuate în urma unor activități casnice, sau substanțe provenite din industrie, de varietate nelimitată;

— îngrășămintele chimice, detergenții, pesticidele, produsele petroliere (uneori în cantități uriașe) etc. poluează, accidental sau sistematic, rîurile, lacurile, mările și oceanele;

— gunoaiele, provenite din orașe sau deșeuri industriale, se adună pe sol în halde uriașe care ajung uneori să aibe consecințe asupra așezărilor și vieților omenești (cazul munților de steril acumulate în zonele exploatărilor carbonifere și siderurgice);

— creșterile de temperatură (în special a apelor), zgomotele, modificările cîmpurilor electrice și magnetice naturale, prezența undelor electromagnetice, radioactivitatea artificială etc. sînt forme cunoscute ale energiei răspîndite în mediu ambiant care pot constitui factori poluanți, în afara altor fenomene încă neobservate.

Din punct de vedere psihic, au loc, de asemenea, traume produse de degradarea esteticii naturale prin distrugerea florei sau degradarea reliefului, deversarea și depozitarea la întîmplare a reziduurilor, precum și prin construcții aglomerate și inestetice, reclame stridente, agramate și absurde, zgomote etc.

12.8.3. SITUAȚIA ACTUALĂ PRIVIND GRADUL DE POLUARE A MEDIULUI

Procesul de degradare a factorilor de mediu de pe întinsul globului a avut, în special în ultimele decenii, un mers ascendent continuu îngrijorător în care cantitatea de poluanți a atins valori ce întrec imaginația și continuă încă să crească într-o progresie aproape geometrică.

Întrucît tot globul pămîntesc beneficiază de un circuit natural comun, ocrotirea mediului înconjurător nu trebuie să se limiteze la frontierele unui singur stat sau zonă. Sînt țări care pot suporta consecințe dăunătoare generate de factori poluanți într-o țară vecină. Din acest

Scanned with OKEN Scanner

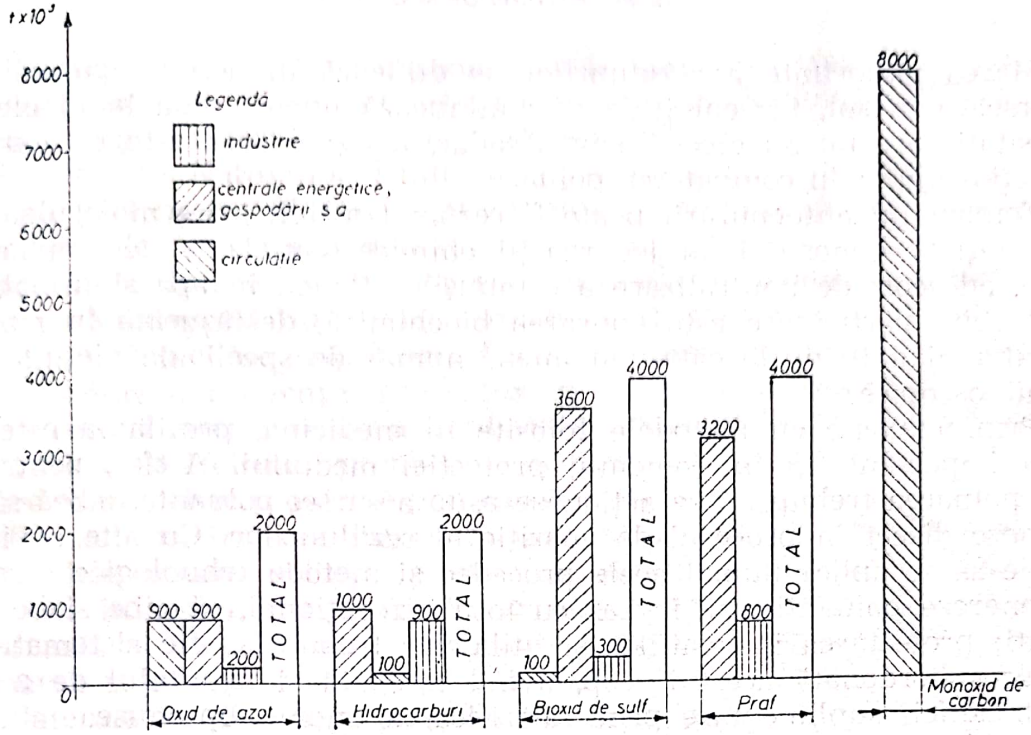


Fig. 12.1. Surse și agenți de poluare a mediului ambiant.

motiv, guvernele statelor trebuie să dezvolte colaborarea internațională pentru rezolvarea problemelor mediului ambiant.

Generarea și sporirea factorilor poluanți se datorează folosirii în procesul de producție a tehnologiilor imperfecte și consumului nerațional de materii prime și energie. Astfel, principalele surse de poluare sînt industria, centralele termoenergetice, mijloacele de transport rutiere, gospodăriile individuale și urbane. Proporția, în care contribuie fiecare din aceste surse la deteriorarea mediului prin degajări de elemente poluante, este dată în figura 12.1.

De foarte scurt timp și numai parțial, implicațiile grave ale evacuării deșeurilor în mediul ambiant au intrat în atenția unor tehnologi și economiști. Astfel, tehnologii, specializați pe un domeniu restrîns, încearcă să rezolve, de regulă, acele probleme ale poluării care nu afectează procesul de producție, iar economiștii sînt preocupați numai de creșterea produsului social brut pe care îl consideră ca principal indice al standardului de viață. Marea majoritate a producătorilor au ca preocupare principală, dacă nu singura, obținerea de beneficiu maxim cu efort minim de investiții, substituind sau neglijînd consecințele poluării mediului.

Existența acestei inerții, privind rezolvarea problemelor de poluare, explică nenumăratele intervenții făcute în cadrul organismelor internaționale de către responsabili conștienți care consideră poluarea mediului ambiant drept crimă a ignoranței și avariției împotriva umanității.

Scanned with OKEN Scanner

12.8.4. AUTOEPURAREA

Marea majoritate a reziduurilor se diluează în aer și apă, sau se dispersează în sol, iar energiile se diminuează uneori pînă la nivele de intensități care nu au efect nociv. Așadar, însăși natura este un extrem de prețios ajutor în combaterea poluării.

Fenomenul autoepurării poate fi rezumat astfel: între moleculele de impurități și atmosferă au loc reacții chimice, catalizate de radiațiile solare, adeseori de neutralizare a compușilor toxici; în apă și în sol, de o deosebită participare este epurarea biochimică, desfășurată în marele laborator al naturii, de către un imens număr de specii ale viețuitoarelor microscopice.

Prin analogie cu metodele folosite în medicină, profilaxia este de primă importanță și în domeniul protecției mediului. Astfel, pentru a evita poluarea trebuie să se acționeze asupra sursei poluante, adică să se acționeze direct în procesul de apariție al reziduurilor. Cu alte cuvinte, trebuie să se aplice numai acele procedee și metode tehnologice care să nu genereze poluanți sau, în caz cu totul excepțional, să aibe slabe nocivități; proiectarea instalațiilor și utilajelor trebuie să fie sistematic și riguros subordonată acestui scop, avînd totodată și avantajul de a obține beneficii suplimentare prin valorificarea unor subproduse.

Așadar, tehnica modernă este solicitată să rezolve problema reziduurilor în sensul de a crea instalații speciale de transformare, neutralizare și depozitare a poluanților care nu pot fi folosiți ca materie primă sau materiale auxiliare. Sursele de poluare „ireductibile" trebuie amplasate la mari distanțe de localități, pe terenuri aride, iar poluanții trebuie diluați în mari bazine acvatice sau aeriene. În cazul în care tehnologia aplicată dă poluanți de nocivitate foarte aproape de zero, uzinele pot fi amplasate în vecinătatea localităților, terenurilor agricole etc.

12.8.5. ROLUL SOCIAL AL ACȚIUNILOR DE PROTECȚIE A MEDIULUI

Acțiunea de ECHILIBRU trebuie să devină un leit motiv pentru orice fel de activitate, atît în crearea de bunuri materiale și spirituale, cît și în relațiile de bună conviețuire sau în relațiile om-societate și om-viață.

În accepția cea mai largă, echilibrul dintre om și mediu, dintre dezvoltare și resurse naturale, precum și dintre factorii mediului trebuie să fie realizat așa fel încît să nu pericliteze viața oamenilor.

Toate aceste deziderate majore pot fi transformate în realitate numai prin acțiuni organizate pe plan național și internațional, în care „echilibrul ecologic" să constituie o componentă a preocupărilor politicii fiecărui stat. Problema poluării și a protecției mediului constituie o preocupare de primă importanță și urgență în multe state ale lumii.

În țara noastră, conducerea statului a preluat direct sarcina de coordonare și supraveghere a mediului înconjurător, aceasta fiind parte integrantă, de importanță deosebită, a activității generale de dezvoltare economică și socială a țării, în concordanță cu principiile fundamentale ale politicii partidului și statului, privind construcția societății socialiste multilateral dezvoltate. Prin Legea nr. 9 din 22 iunie 1973, statul român, consecvent politicii sale, a creat cadrul legal și organizatoric adecvat unei mai bune protecții a mediului.

Scanned with OKEN Scanner

12.8.6. ACȚIUNI INTERNAȚIONALE

Protecția mediului, pe ansamblu, este una din preocupările de bază ale organizațiilor aflate sub egida Organizației Națiunilor Unite, problemă care a fost dezbătută în repetate rînduri.

Conferința Națiunilor Unite de la Stockholm 5—16 iunie 1972, la care au participat 114 țări și reprezentanți ai principalelor organizații internaționale, a fost cea mai importantă manifestare privind mediul înconjurător. Hotărîrile adoptate și recomandările făcute la această conferință s-au dovedit nu numai realiste, ci și în consens cu necesitățile cele mai actuale ale națiunilor, fiind dezvoltate și trecute în practică prin acorduri și convenții internaționale colective și bilaterale.

În cadrul celei de-a doua Conferințe Generale Europene din septembrie 1973 de la Helsinki, problemele de protecția mediului au fost înscrise printre principalele probleme politice ale ordinii de zi.

Privind colaborarea internațională, țara noastră este promotor în principalele acțiuni politice, economice, științifice și sociale. Astfel: colaborează în cadrul PNUD, realizînd teme de cercetare în domeniul poluării apei și aerului; are o activitate bogată în cadrul OMS privind normarea substanțelor poluante; participă de mai mulți ani la lucrările multilaterale în domeniul problemelor economice și sociale studiate în cadrul CAER.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Baran, T., *Calitatea și fiabilitatea produselor.* București, Editura didactică și pedagogică, 1976.
2. Barnea, M., Papadopol, C., *Poluarea și protecția mediului.* București, Editura științifică și enciclopedică, 1975.
3. Bogdan, C. ș.a., *Îndrumar de lucrări practice pentru tehnologia materialelor.* Litografia Institutului politehnic Brașov, 196 '.
4. Breazu, M. ș.a., *Îndrumătorul sudorului.* București, Editura tehnică, 1975.
5. Coman, S., Chioreanu, D., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1978.
6. Cristopher, Janes., *Design. Metode și aplicații.* București, Editura tehnică, 1975.
7. Coman, Șt., Chiorean, D., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1978.
8. Drăgan, I., *Tehnologia deformării plastice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1976.
9. Domșa, Al., *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice.* București, Editura tehnică, 1966.
10. Echim, I. ș.a., *Tehnologii de sudare prin topire a oțelurilor.* București, Editura tehnică, 1974.
11. Felecan, Fl., *Prelucrarea materialelor plastice și sticlei.* Litografia Universității Brașov, 1977.
12. Gâdea, S., ș.a., *Metalografie.* București, Editura didactică și pedagogică, 1974.
13. Goraș, G., *Metalurgie fizică generală.* București, Editura tehnică, 1976.
14. Geru, N., *Metalurgie fizică.* București, Editura didactică și pedagogică, 1981.
15. Golumba, M., *Tehnologia materialelor.* Litografia Institutului politehnic Timișoara, 1981.
16. Katchanov, L., *Eléments de la théorie de la plasticité,* Edition Mir., Moskva, 1975.
17. Iliescu, C., *Tehnologia ștanțării și matrițării la rece.* București, Editura didactică și pedagogică, 1976.
18. Mehedințeanu, M., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului politehnic București, 1971.
19. Moga, Al., *Materiale în construcția de mașini.* București, Editura tehnică, 1964.
20. Mancaș, A., Datcu, N., *Tehnica galvanoplastică.* București, Editura tehnică, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

21. Moldovan, P., *Tehnologii metalurgice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1978.
22. Moișoiu, A., *Tehnologia materialelor.* Litografia Institutului de învățământ superior Tg. Mureș, 1980.
23. Micloși, V., Săvulescu, M. J., *Tehnologia materialelor,* vol. I și II. Litografia Institutului de petrol și gaze Ploiești, 1981.
24. Mehedințeanu, M., *Exploitation des ateliers I-ère et. II-ème partié.* Université Nationale du Zaire, Campus de Kinshasa, Faculté Polytechnique, 1977.
25. Maniu, Al., *Utilaj pentru deformări plastice; I — Utilaj pentru forjare și matrițare.* Litografia Universității Brașov, 1974.
26. Nanu, A., *Tehnologia materialelor.* București, Editura didactică și pedagogică, 1977.
27. Nanu, A., Nanu, D., *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în cîmp magnetic.* Timișoara, Editura Facla, 1981.
28. Nichici, Al., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului politehnic Timișoara, 1974.
29. Nichici, Al., *Tehnologia materialelor,* vol. I și II. Litografia Institutului politehnic Timișoara, 1979.
30. Popescu, N., Vătănescu, C., *Tehnologia tratamentelor termice.* București, Editura tehnică, 1974.
31. Picoș, C., *Tehnologia construcției de mașini.* București, Editura didactică și pedagogică, 1974.
32. Popovici, V., *Tehnologia mecanică.* Litografia Institutului politehnic Timișoara, 1979.
33. Oprescu, I., ș.a., *Utilaje metalurgice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1977.
34. Quevron, L., Quedine, L., *Cours de métallurgie.* Paris, Eyrolles, 1972.
35. Rădoi, L., ș.a., *Electrochimie.* Timișoara, Editura Facla, 1974.
36. Stoian, L., *Tehnologia materialelor.* București, Editura didactică și pedagogică, 1978.
37. Sporea, I., *Tehnologia materialelor,* partea I și II. Litografia Institutului politehnic Timișoara, 1975.
38. Sofroni, L., *Elaborarea și turnarea aliajelor. Fonte, oțeluri și aliaje neferoase.* București, Editura didactică și pedagogică, 1975.
39. Severdenko, P., *Laboratornîi practicum po teorii, mașinam i tehnologii obrabotki metalov davleniem.* Izd. Vîșaia școla, Minsk, 1975.
40. Sălăgean, Tr., *Oțeluri pentru construcții sudate.* Timișoara, Editura Facla, 1974.
41. Trusculescu, M., *Studiul metalelor.* București, Editura didactică și pedagogică, 1974.
42. Tripșa, I., Dragomir, I., *Teoria proceselor metalurgice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1972.
43. Teodorescu, M., ș.a., *Tehnologia presării la rece.* București, Editura didactică și pedagogică, 1980.
44. Teodorescu, M., *Tehnologia extrudării metalelor.* București, Editura tehnică, 1975.
45. Vintilă, N., *Tehnologia metalelor.* Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1978.
46. Vacu, Silvia, ș.a., *Metalurgia generală.* București, Editura didactică și pedagogică, 1975.
47. Voicu, M., ș.a., *Sudare și procedee de sudare. Îndrumar de laborator.* Litografia Institutului politehnic București, 1979.

Scanned with OKEN Scanner

48. Voicu, M. ,ș.a., *Studiul și tehnologia metalelor*. București, Editura didactică și pedagogică, 1975.
49. Voicu, M., Păușan, I., ș.a., *Îndrumar de laborator pentru proprietățile și încercările materialelor metalice*. Litografia Institutului politehnic București, 1979.
50. Vulcu, V., Jakab, E. și Dietmar, E., *Tehnologia materialelor*. Litografia Universității Brașov, 1978.
51. Weill, R., *Technique d'usinage*. Paris, Dunod, 1971.
52. Jakab, E., Erlich, D., *Tehnologia mecanică*. Litografia Universității Brașov, 1974.
53. * * * *Metode și mijloace moderne de prelucrare a metalelor. Culegere de traduceri*. București, I.N.I.D., 1975.

Scanned with OKEN Scanner

Coli de tipar: 18,75. Format: 16/70×100. Bun de tipar: 15.X.1982. Nr. plan: 9176. Ediția 1982.

Tiparul executat sub cda. nr. 228/82, la Întreprinderea Poligrafică „Crișana", Oradea, str. Moscovei nr. 5.
Republica Socialistă România

Scanned with OKEN Scanner